

OSTEOLOGÍA Y VARIACIÓN NO GEOGRÁFICA
DE LA SUSPENSIÓN DE LA ALETA ANAL DE
Goodea luitpoldi
(OSTEICHTHYES: GOODEIDAE).

Ana Fabiola Guzmán

*Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias
Biológicas, I. P.N., Prolongación de Carpio y Plan de Ayala,
11340 México, D.F.*

RESUMEN: Se describe la estructura ósea de la suspensión de la aleta anal de *Goodea luitpoldi* del lago de Pátzcuaro, Michoacán, analizada en 51 individuos de ambos sexos, la cual está formada por 16 pterigióforos, raramente 15 o 17. Los pterigióforos no mostraron variación en el número de los radiales que los constituyen, a excepción del primero, penúltimo y último de ellos. La suspensión se encuentra a la altura de las primeras seis a ocho vértebras caudales. Se observó dimorfismo sexual en el largo y la disposición de los basales de la mitad anterior de la suspensión en ejemplares mayores a 69.8 mm de longitud patrón, pero no en las variables merísticas consideradas. Dada la poca variación de la suspensión, se le considera útil para caracterizar a esta población, y, como ha sido propuesto por otros autores, probablemente esta estructura pueda ser utilizada para resolver problemas taxinómicos y filogenéticos de la familia.

PALABRAS CLAVE: osteología, suspensión anal, *Goodea luitpoldi*, variación, Pátzcuaro.

ABSTRACT: The bony structure of the anal-fin suspension in *Goodea luitpoldi* from lago de Pátzcuaro, Michoacán, was studied in 51 specimens. It is formed by 16 pterygiophores, rarely 15 or 17. The pterygiophores did not show variation in the number of their radials, except in the first, penultimate, and last of them. The anal-fin supports are in relation to the six to eight anterior caudal vertebrae. Sexual dimorphism is present in the length and arrangement of the half anterior basals of the suspension in specimens longer than 69.8 mm standard length, but in none of the meristic characters analyzed. Because of its low variation, the anal-fin suspension is considered useful in the recognition of this population, and, if it also is found low variation in the other populations of *G. luitpoldi* and in other goodeids, in the resolution of taxinomic and phylogenetic problems of the family, as has been proposed by other searchers.

KEY WORDS: Osteology, anal-fin suspension, *Goodea luitpoldi*, variation, Pátzcuaro.

La familia Goodeidae reviste interés desde los puntos de vista zoogeográfico y biológico. Zoogeográfico debido a su endemismo y distribución restringida a la región central de México. Biológico porque es uno de los pocos grupos de peces que presentan viviparidad, forma de reproducción que está acompañada del desarrollo de trofotenia en los embriones y recién nacidos (excepto en una de las especies), y de modificaciones en los ovarios en la hembra y en la aleta anal en los machos (Alvarez del Villar, 1970; Miller y Fitzsimons, 1971; Fitzsimons, 1972; Nelson, 1976).

Estudios osteológicos comparativos de la suspensión de la aleta anal de 18 especies representantes de las cuatro subfamilias de goodeidos, en los que se analizan la morfología, el número y la posición relativa de cada uno de sus elementos (dichos estudios examinan seis ejemplares, tres machos y tres hembras), han llevado a sugerir que esta estructura tiene potencial para diferenciar a las especies y proponer filogenias (Acosta Hernández, 1990; Paulo-Maya *et al.*, 1992), y con ello, a considerarse como una alternativa para resolver problemas taxonómicos y filogenéticos de la familia Goodeidae que sólo han quedado parcialmente resueltos con el estudio de estructuras como el ovario y la trofotenia (e. g. Hubbs y Turner, 1939), los dientes y el intestino (Regan, 1911), el cariotipo (Uyeno *et al.*, 1983), el sistema de la línea lateral en la cabeza (Miller y Fitzsimons, 1971) y la parte radiosa de la aleta anal (Hubbs y Turner, 1939; Turner *et al.*, 1962).

En el presente estudio se describe la estructura ósea de la suspensión de la aleta anal de *Goodea huijoldi* y su variación no geográfica, a través del análisis de una muestra de la población del lago de Pátzcuaro, Michoacán.

El soporte óseo de la aleta anal en los osteictios está constituido por una serie de elementos llamados pterigióforos, los que a su vez están formados en su condición primitiva

por una serie de tres elementos llamados radiales, que son: radial proximal (o basal, si está agrandado en comparación con los otros dos elementos), radial medio y radial distal (fig. 1; Eaton, 1945; Lindsey, 1955). Eaton (1945) ha recomendado no usar otros términos como basósteo, axonósteo, interhemal o interneural, para designar a los radiales, pues no se justifica introducir nuevos términos para nombrar a la misma estructura, a menos que se trate de estructuras especializadas, como el caso de los basales anteriores de la aleta anal de los pecílidos machos, que se fusionan entre sí para formar una placa conocida como complejo gonacinal (Rosen y Bailey, 1963). En este sentido, Acosta Hernández (1990) y Paulo-Maya *et al.* (1992) adoptaron la terminología empleada para los pecílidos, lo que es inadecuado por que las estructuras presentes en los machos adultos de las familias Poeciliidae y Goodeidae no son las mismas.

MATERIAL Y METODOS

Se trabajó con una muestra de 51 individuos, 25 hembras y 26 machos, agrupados en tres clases de talla, de la Colección de Peces de Agua Dulce de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. La referencia a esas clases en el texto se simplificó utilizando los términos de pequeña, mediana y grande, las cuales tuvieron los siguientes intervalos de longitud patrón (en mm), respectivamente: 48.4 a 57.5 (5 hembras y 8 machos), 60.8 a 77.3 (10 hembras y 10 machos), y 80.3 a 87.7 (10 hembras y 8 machos); la falta de ejemplares en colección impidió que las clases pequeña y grande estuvieran representadas por las tallas extremas que tiene la especie, que en Pátzcuaro es hasta de 146 mm para la talla grande (De Buen, 1946). Los ejemplares representan colectas con un intervalo de 46 años (1947-1993).

Los ejemplares fueron transparentados y teñidos empleando la técnica de Hollister (1934), modificada con alizarina alcohólica

Variable	Valores observados				Prueba de Z	Mann-Whitney P	
Vértebrae totales	40 (38)	41 (13)			0.179	0.8580	
Vértebrae precaudales	19 (11)	20 (38)	21 (2)		0.650	0.5156	
Vértebrae caudales	20 (30)	21 (20)	22 (1)		0.707	0.4798	
Centro vertebral en la que inicia la suspensión de la aleta anal	20.5 (3)	21 (14)	21.5 (12)	22 (17)	1.605	0.1064	
Centro vertebral en la que termina la suspensión de la aleta anal.	28 (19)	28.5 (16)	29 (8)	29.5 (2)	30 (1)	0.869	0.3850
Centro vertebral de la primera espinahemal en contacto con la suspensión de la aleta anal.	20 (13)	21 (37)	22 (1)		0.000	1.0000	
Radios de la aleta anal	16 (41)	17 (5)			0.758	0.4484	
Pterigióforos de la aleta anal	15 (1)	16 (43)	17 (3)		0.516	0.6040	

Tabla 1.- Variables merísticas en *Goodea huipoldi* del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Se indican los valores registrados y entre paréntesis la frecuencia observada por cada caso, así como los resultados de la prueba no paramétrica. Z representa los valores en la curva normal y P su probabilidad.

saturada y sin luz ultravioleta. Las observaciones se hicieron bajo microscopio estereoscópico a 10 aumentos. Los esquemas fueron elaborados con ayuda de microscopio estereoscópico a 12.5 aumentos y cámara clara. Para la nomenclatura de la suspensión de la aleta anal se siguieron los trabajos de Eaton (1945), Lindsey (1955) y Miller y Fitzsimons (1971).

Se estudiaron ocho variables merísticas (tabla 1). Los pterigióforos se contaron aún cuando sólo existiera uno sólo de sus elementos, e. sólo el radial distal. Se consideraron todos los radios de la aleta anal, incluyendo el primero, que es un rudimento, y el último, ya que en el material transparentado se observó que tienen soportes esqueléticos distintos al de los radios contiguos. La longitud de la suspensión de la aleta en relación con la columna vertebral se determinó proyectando, desde el punto más anterior de la suspensión y del más posterior, una línea imaginaria perpendicular al eje de la columna, efectuándose la cuenta de vértebras con base en el número de cuerpos vertebrales comprendidos en ese intervalo; en los casos en los que la línea estuviera entre

dos cuerpos, se sumó 0.5 al valor del primero. Asimismo, se consideraron vértebras caudales aquellas con arco y la espina hemal, así como las integrantes del complejo hipúrico.

El dimorfismo sexual se analizó realizando la prueba de U de Mann-Whitney. El análisis entre tallas no se consideró dado que en los peces el valor de las variables merísticas, que está influido por diversos factores ambientales, queda establecido en un breve período de tiempo durante la etapa de embrión o de larva (Barlow, 1961, y referencias ahí citadas).

Debido a que aún no existe el trabajo en extenso de Paulo-Maya y colaboradores, que incluye la suspensión de las otras dos especies del género *Goodea* y de la subfamilia Goodeinae (a la que pertenece *Goodea*), no fue factible hacer las comparaciones pertinentes con los taxa que se consideran más estrechamente emparentados, según la sistemática actual de la familia. Igualmente, se espera que cuando dichos investigadores finalicen su estudio se puedan establecer, basados en esta estructura, las relaciones de *Goodea huipoldi*.

Talla y sexo	Número total de radios		Número total de pterigióforos			Número de radiales		presentes en penúltimo		pterigióforo último			
	16	17	15	16	17	Primero		2	3	1	2	3	4
						1	2						
Grande													
machos	8	-	-	8	-	8	-	-	8	-	2	2	4
hembras	7	2	1	5	2	9	-	4	5	1	3	1	3
Mediana													
machos	8	-	-	8	-	10	-	1	9	-	3	2	-
hembras	8	1	-	9	1	9	-	2	7	2	5	3	-
Pequeña													
machos	6	1	-	6	1	6	1	-	7	-	6	1	-
hembras	4	1	-	4	1	5	-	-	5	2	2	1	-
TOTAL	41	5	1	40	5	47	1	7	41	5	23	10	1
machos	22	1	1	22	1	24	1	1	24	-	13	5	4
hembras	19	4	1	18	4	23	-	6	17	5	10	5	3

Tabla 2. Variación observada en el número de elementos de la suspensión de la aleta anal de *Goodea luitpoldi* del Lago de Pátzcuaro, Michoacán.

RESULTADOS Y DISCUSION

La suspensión de la aleta anal.

La columna vertebral en *Goodea luitpoldi* está formada de 40 a 41 vértebras, existiendo una proporción casi 1:1 entre las vértebras precaudales y caudales. Del total de vértebras, aproximadamente la quinta parte está en relación con la suspensión de la aleta anal.

El extremo anterior de la suspensión de la aleta anal se ubica a la altura de la última vértebra precaudal y la primera caudal, en la zona intermedia entre los centros vertebrales 20 y 21 e inclusive hasta el centro 22, estando comprendidos la mayor parte de los casos entre las vértebras 21 a 22 (93.48%). La suspensión termina seis a ocho centros vertebrales después, a la altura de los centros 28 a 30, estando comprendidos el 76.09% de los casos entre las vértebras 28 y la zona intermedia entre las vértebras 28 y 29 (tabla 1, fig. 1).

La aleta anal de *Goodea luitpoldi* presenta correspondencia uno a uno entre pterigióforos y radios (excepto en un caso, en el que el último radio carecía de pterigióforo),

los pterigióforos de los extremos de la aleta generalmente constan de uno o dos radiales, y los proximales están agrandados y en general alargados, por lo que se denominan basales. Se sabe que estas condiciones se presentan en la mayoría de los osteictios recientes (Eaton, 1945; Lindsey, 1955), y también se han registrado en *Ameiops splendens* (Miller y Fitzsimons, 1971) y *Skiffia francesae* (Kingston, 1978), entre los goodeidos. Por su parte, la información disponible para las especies estudiadas por Acosta Hernández (1990) sólo permite afirmar la presencia de basales y una reducción en el número de radiales de los pterigióforos no ubicados en los extremos de la suspensión, por lo menos para *Girardinichthys multiradiatus*, *G. viviparus* e *Ilyodon whitei*, pero no se incluye información sobre la proporción numérica con los radios ni sobre los radiales distales (las estructuras que nombra como basostos probablemente sean los radiales medios).

El número de pterigióforos varió entre 15 y 17, siendo más frecuente la presencia de 16 (86.96%; tablas 1 y 2). Otros goodeidos que presentan un número semejante son *Skiffia multipunctata* (16 pterigióforos), las hembras

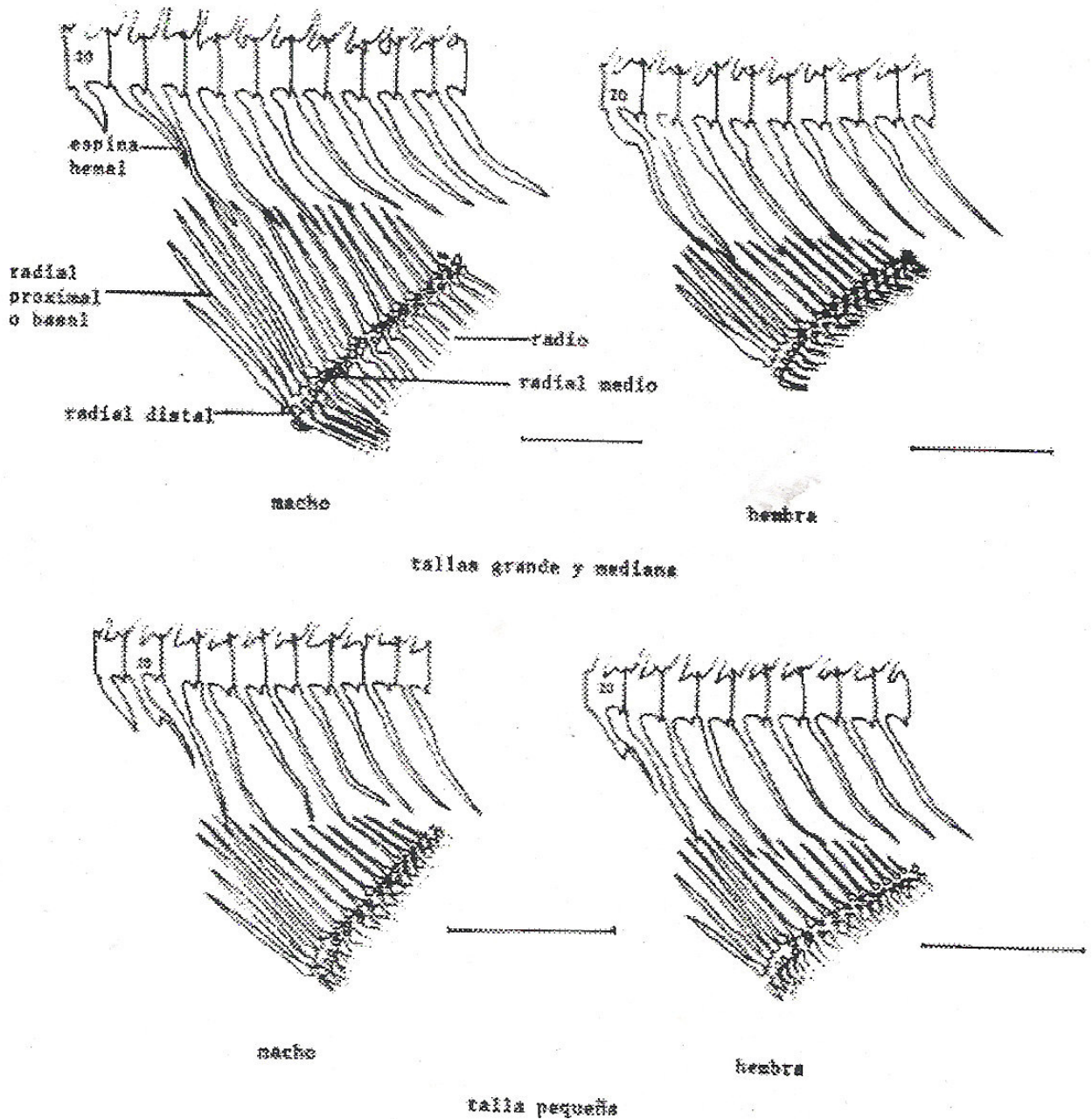


Fig. 1.- Estructura ósea de la suspensión anal de *Goodea huitpoldi* del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Las líneas representan 5mm cada una.

de *Ilyodon furcidens* e *I. xantusi* (Acosta Hernández, 1990), *Skiffia francesae* (15 y 16; Kingston, 1978), y *Ameca splendens* (16; Miller y Fitzsimons, 1971).

La composición de los pterigióforos, exceptuando al primero, penúltimo y último (tabla 2), fue constante en todos los ejemplares examinados y, a juzgar por la tinción, todos los radiales estaban osificados.

El primer pterigióforo está formado únicamente por el basal, aunque en un macho pequeño se presentó una estructura que podría ser el radial proximal. Los pterigióforos 2, 3 y 4 carecen de radiales medios. En ambos casos, se ha sugerido que los radiales medios están fusionados a los basales (Miller y Fitzsimons, 1971). Los siguientes 10 pterigióforos (u 11, si la suspensión tiene 17 pterigióforos totales), del 5 al 14 (o al 15, en el mismo caso), son típicamente triseriados. El penúltimo pterigióforo careció del radial medio en 7 casos (14.58%). El último pterigióforo fue el más variable, ya que aunque el radial distal se presentó en todos los casos, los otros radiales mostraron varios patrones en número y forma: un sólo elemento, el radial distal (11.11% de los ejemplares); dos elementos, el radial distal y quizá un basal (51.11%); tres elementos, el radial distal y probablemente el basal y el radial medio (22.22%); y cuatro elementos, el radial distal, el basal, el radial medio y aparentemente una porción no fusionada del basal (15.56%; tabla 2). La forma del último basal fue de circular-ovalada (en el segundo y tercero de los casos arriba mencionados) a verticalmente alargada (en el tercero y cuarto de los mismos casos).

Cabe mencionar que la composición interna de los respectivos pterigióforos de *Ameca splendens* y de *Skiffia francesae* es prácticamente idéntica a la de *Goodea huijpoiki*.

Los cinco primeros basales divergen entre sí en su extremo proximal, mientras que en su extremo distal se encuentran muy juntos, dando en conjunto una apariencia de abanico,

característica más pronunciada en los machos que en las hembras y en los ejemplares machos grandes y medianos que en los pequeños; al apiñamiento distal de los basales corresponde un apiñamiento de los radios respectivos en ambos sexos, aunque éste es mucho más notable en los machos. Estos basales son un poco más anchos que la generalidad y el cuarto y el quinto son los más largos. Los demás basales se disponen paralelos entre sí y disminuyen de tamaño de la región anterior a la posterior; los radiales medios y distales van disminuyendo de tamaño en ese mismo sentido (fig. 1).

Los basales son más largos y menos inclinados en los machos que en las hembras, sobre todo los de la mitad anterior, aunque esto fue menos notorio en los ejemplares pequeños (fig. 1); este dimorfismo sexual en *Goodea huijpoiki* podría manifestarse también externamente, y para probarlo se requeriría estudiar el comportamiento de la medida vertical que pasa por el origen de la anal; un caso semejante parece ocurrir en las especies del género *Ilyodon* (Acosta Hernández, 1990; figs. 3, 4 y 5). Al alargamiento de los cinco basales anteriores de los machos de talla mediana y grande de *Goodea huijpoiki*, corresponde un acortamiento de sus respectivos radios.

Los basales 3 a 5 y 15 se extienden en su ápice proximal entre las espinas hemales de las vértebras 20 a 26, en número de dos a tres basales por vértebra (fig. 1); la proporción mayor de basales respecto a las espinas vecinas a la suspensión es también característica de la mayoría de los osteictios modernos (Lindsey, 1955). La primera espina hemal que penetra en el área de la suspensión de la aleta anal corresponde a la de las vértebras 20 a 22, mayormente la de la vértebra 21 (72.55%). En términos generales, la disposición relativa general que guardan los basales y las espinas hemales entre sí en ambos sexos, es parecida a la que presenta la hembra de *Skiffia bilineata* (Acosta Hernández, 1990; fig. 8), aunque no coinciden en otros aspectos, por ejemplo, la vértebra en la que inicia la suspensión y el

número de pterigióforos. Aquí cabe resaltar que es precisamente la disposición espacial relativa entre los basales y entre los basales y las espinas hemales las que pueden ofrecer mayor utilidad para diferenciar a las especies que poseen una merística semejante (Acosta Hernández, 1990).

Las espinas hemales no están modificadas, como sucede en los machos adultos de la familia Poeciliidae, y sólo en cuatro de los 51 ejemplares revisados, la espina de la primera vértebra caudal está curvada posterad en su tercio distal (25%), o anterad en su mitad distal (75%). El arco hemal de la primera vértebra caudal y las apófisis transversas de la última vértebra precaudal suelen ser más anchos, ya que esas vértebras están precisamente en el límite posterior de la cavidad abdominal, en contacto con la vejiga gaseosa, y en la transición entre un tipo de vértebra a otro; sin embargo, no se observó un patrón en particular relacionado con el sexo o la edad. Las modificaciones a las que se refiere Acosta Hernández (1990) en las vértebras ubicadas a la altura del inicio de la suspensión de los machos probablemente correspondan a este tipo de ensanchamientos y no tengan que ver con modificaciones debidas a su desarrollo sexual. Para poder aclarar este punto, se necesitaría estudiar, como se ha hecho con los pecílidos, el desarrollo ontogénico de la suspensión y la columna vertebral.

Las espinas hemales, aunque consideradas por Acosta Hernández (1990) y Paulo-Maya *et al.* (1992) como parte de la suspensión de la aleta anal de los goodeidos, son realmente unidades anatómicas independientes de los pterigióforos y como tal son consideradas en el presente trabajo. Aunque en algunos grupos de peces sí existe una fuerte interacción funcional de los primeros basales de la aleta anal con las espinas hemales (e.g. carángidos, observación personal), no es el caso de los goodeidos.

Los radios

El número de radios varió de 16 a 17, siendo más frecuente el primer caso (89.13%). El primer radio es rudimentario, no segmentado y no ramificado; los siguientes radios son de talla normal, segmentados y bifurcados, a excepción de los seis radios anteriores del macho, los que están agrupados y acortados. La estructura de los primeros ocho radios de la aleta anal de ambos sexos ya ha sido ilustrada previamente (Turner *et al.*, 1962: figs. 10 y 12), no difiriendo significativamente de ella las observaciones hechas en el presente trabajo, excepto en que presentaron una bifurcación a partir del extremo distal del segundo radio de los machos y doble bifurcación en los radios de las hembras.

Dimorfismo sexual

El análisis estadístico realizado no reconoció diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) debidas al dimorfismo sexual en ninguno de los ocho caracteres merísticos estudiados, por lo que la variación observada se debe a la plasticidad fenotípica de cada individuo (tabla 1), la que estaría dada sobre todo por la variación genética entre los individuos.

CONCLUSIONES

La estructura ósea de la suspensión de la aleta anal de *Goodea huijoldi* presenta poca variación en el número de pterigióforos y en el número de elementos que los conforman. Lo mismo ocurre con el número de radios, el centro vertebral de la primera espina hemal en contacto con la suspensión anal y el número de vértebras, puesto que presentan dos o hasta tres posibles valores. Lo anterior permite considerar útil a la merística de la suspensión para caracterizar taxonómicamente a esta población (y probablemente a toda la especie), aunque de valor limitado para diferenciarla de goodeidos como *Ameca splendens* y *Skiffia francesae*, por lo que habría que considerar también, como lo

han señalado otros autores, la disposición espacial relativa de los basales y de las espinas hemales; igualmente, habría que estudiar el comportamiento de la merística en las especies que poseen una mayor variación en el número de radios y por ende de ptergióforos (asumiendo que se respeta la relación 1:1 entre ambos elementos), como sucede con *Girardinichthys multiradiatus*.

Finalmente, en *Goodea huijoldi* sólo se presenta dimorfismo sexual en el largo y la disposición de los basales de la mitad anterior de la suspensión en ejemplares mayores a 69.8 mm de longitud patrón, no así para las variables merísticas consideradas.

Agradecimientos. Deseo agradecer por el apoyo logístico prestado al presente estudio a los laboratorios de Ictiología y Limnología, de Biología Básica, de Geología y Paleontología, y de Embriología, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, al Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Pátzcuaro, y muy especialmente al Laboratorio de Paleozoología de la Subdirección de Servicios Académicos del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Igualmente, a Oscar J. Polaco, Edmundo Díaz Pardo, Eugenia López López, Joel Paulo Maya y cuatro revisores anónimos, por sus críticas y sugerencias al trabajo.

LITERATURA CITADA

Acosta Hernández, O. 1990. Estudio osteológico de la suspensión gonopódica y el complejo hipúrico en la subfamilia Girardinichthyinae (Pisces: Goodeidae). Tesis profesional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, 68 pp.

Alvarez del Villar, J. 1970. Peces mexicanos (claves). Instituto Nacional de Investigaciones Biológicas Pesqueras, Serie Investigación Pesquera, Estudio no.1,

México, 166 pp.

Barlow, G.W. 1961. Causes and significance of morphological variation in fishes. *Systematic Zoology*, 10(3):105-117.

De Buen, F. 1946. Ictiogeografía continental mexicana (I, II y III). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 7(1-4):87-138.

Eaton, T.H. 1945. Skeletal supports of the median fins of the fishes. *Journal of Morphology*, 76:193-212.

Fitzsimons, J.M. 1972. A revision of two genera of goodeid fishes (Cyprinodontiformes, Osteichthyes) from the Mexican Plateau. *Copeia*, 1972(4):728-756.

Hollister, G. 1934. Clearing and dyeing fish for bone study. *Zoologica*, 12(10):89-101.

Hubbs, C.L. y C.L. Turner. 1939. Studies of the fishes of the order Cyprinodontes. XVI. A revision of the Goodeidae. *Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology of the University of Michigan*, 42:1-80.

Kingston, D.I. 1978. *Skiffia francesae*, a new species of goodeid fish from western México. *Copeia*, 1978(3):503-508.

Lindsey, C.C. 1955. Evolution of meristic relations in the dorsal and anal fins of Teleost fishes. *Transactions of the Royal Society of Canada*, 49(3):35-49.

Miller, R.R. y J.M. Fitzsimons. 1971. *Ameca splendens*, a new genus and species of goodeid fish from western Mexico, with remarks on the classification of the Goodeidae. *Copeia*, 1971(1):1-15.

Nelson, J.S. 1976. *Fishes of the world*. John Wiley & Sons. New York. 416 pp.

Paulo-Maya, J., E. Soto-Galera y M.A. Godínez R. 1992. Estudio comparativo de la suspensión gonopódica en 11 especies de la familia Goodeidae. Pp. 27, *in* Resúmenes del III Congreso Nacional de Ictiología. Oaxtepec, Morelos, del 24 al 27 de noviembre de 1992.

Regan, C.T. 1911. The osteology and classification of the teleostean fishes of the Order Microcyprini. *The Annals and Magazine of Natural History*, serie 8, volumen 7, pp. 320-327.

Rosen, D.E. y R.M. Bailey. 1963. The poeciliid

- fishes (Cyprinodontiformes), their structure, zoogeography, and systematics. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 126(1):1-175.
- Turner, C.L., G. Mendoza y R. Reiter. 1962. Development and comparative morphology of the gonopodium of goodeid fishes. *Proceedings of the Iowa Academy of Science*, 69:571-586.
- Uyeno, T., R.R. Miller y J.M. Fitzsimons. 1983. Kariology of the cyprinodontoid fishes of the Mexican family Goodeidae. *Copeia*, 1983(3):497-510.
-