

Descripción y comparación de la línea lateral de tres especies de rayas eléctricas del género *Narcine* (Torpediniformes: Narcinidae)

Jonathan De la Cruz-Torres^{1,2}, Adrián F. González-Acosta², & José A. Martínez-Pérez³

1. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, ICMyL, UNAM, Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria, México D.F. C.P. 04510; jct_90@outlook.com
2. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. Instituto Politécnico Nacional, s/n, Colonia Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, México, C.P. 23096; aacosta@ipn.mx
3. Laboratorio de Zoología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. De los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México. C.P. 54090; jamp55@prodigy.net.mx

Recibido 13-XI-2017. Corregido 02-II-2018. Aceptado 08-III-2018.

Abstract: Description and comparison of the lateral line of three species of electric rays of the genus *Narcine* (Torpediniformes: Narcinidae). This study describes the composition and structural arrangement of the lateral line system of three electric ray species (*Narcine bancroftii*, *N. entemedor* and *N. vermiculatus*). All three species showed the supraorbital (SO), infraorbital (IO), hyomandibular (HYO) and posterior lateral line (PLL) canals, less branched compared to other batoids. *Narcine entemedor* differs from its congeners by the extensive branching of the SO and IO canals, which converge in the inter-orbital region; in *N. vermiculatus* these canals present a similar condition, but are less branched. In contrast, *N. bancroftii* has divergent canals (directed outwards from the inter-orbital region). HYO canals are located on the periphery of the electric organs in these species; in *N. bancroftii* the branches extend towards the posterior region, whereas in the other species are reduced (*N. entemedor*) or almost absent (*N. vermiculatus*). The PLL is curved and projected towards the urostyle, it also shows a large number of ramifications, except in *N. vermiculatus*. Information about the LL canal system arrangement and pore number in *Narcine* can be useful for the taxonomic distinction of its species, as it has been corroborated in other Torpediniformes. Rev. Biol. Trop. 66(2): 586-592. Epub 2018 June 01.

Key words: electric rays; lateral line system; Torpediniformes; taxonomic characters.

El sistema mecanorreceptor de la línea lateral (SMLL), se compone de una serie de neuromastos contenidos en ámpulas localizadas sobre la superficie de la piel, de un sistema de canales sub-epidérmicos y de las vesículas sub-epidérmicas de Savi (Parker & Haswell, 1987). El número y disposición de las estructuras de este sistema mecanorreceptor, varía entre los distintos grupos ícticos y es de utilidad para su diferenciación taxonómica (Maruska, 2001).

En los elasmobranchios (tiburones, rayas y mantarrayas), el SMLL se compone de una serie de canales con poros, los cuales están presentes en los costados del cuerpo de los tiburones y, en la región ventral y dorsal de la mayoría de los batoideos, con excepción de los

Torpediniformes que lo presentan únicamente en la región dorsal (McEachran & Dunn, 1996). Adicionalmente, dicho sistema consta de estructuras electrorreceptoras localizadas en la parte anterior del cuerpo, denominadas ámpulas de Lorenzini, las cuales les permiten detectar campos electromagnéticos y gradientes de temperatura; de este modo, dichos órganos sensoriales cumplen un papel fundamental en la vida de estos organismos (Coombes & Bleckmann, 2014).

La función que desempeña el SMLL en los peces, se relaciona con la conducta social del organismo y con la detección de las corrientes de agua para el ahorro de energía durante la locomoción, así como para la detección

y localización de sus presas, a través de la percepción del alboroto que estas generan en la columna de agua (Kalmijn, 1971, 1982; Pearson & Ball, 1981; Paulin, 1995; Montgomery & Walker, 2001; Rivera-Vicente, Sewell, & Tricas, 2011; Kempster, McCarthy, & Collin, 2012).

El estudio de la disposición corporal de los canales del SMLL en batoideos, pone de manifiesto la gran variabilidad que se puede observar entre los diferentes grupos que integran esta división y, aunque este sistema no ha sido bien estudiado, se ha mencionado su utilidad como fuente de caracteres para la resolución de problemas taxonómicos y el establecimiento de relaciones filogenéticas; en particular, de los grupos que integran el orden Torpediniformes (Portella & de Carvalho, 2013; Claeson, 2014). Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo describir y evaluar la disposición estructural del sistema de canales de la línea lateral de tres especies de rayas eléctricas del género *Narcine*, con distribución en México, todo lo anterior, con la finalidad de identificar caracteres útiles para la delimitación taxonómica de las especies de interés y su eventual relación con otros Torpediniformes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se examinaron un total de 18 ejemplares, correspondientes a tres especies del género *Narcine*: *N. bancroftii* (6), *N. entemedor* (6) y *N. vermiculatus* (6), recolectados en diferentes localidades de las costas mexicanas (Veracruz, Oaxaca, Sinaloa y Baja California Sur). Los ejemplares fueron identificados con ayuda de las claves de McEachran (1995) y McEachran & de Carvalho (2002). La morfología general, disposición y patrones de inervación de la línea lateral, fueron examinados siguiendo los criterios establecidos por Lovejoy (1996), que incluyen la disección de la piel de la sección dorsal, con ayuda de bisturí y pinzas de disección, lo que permite exponer los canales para su examen. Para la observación de los canales de la línea lateral, se implementó una técnica que consiste en secar la piel entre dos piezas

de cartón, con la finalidad de extenderla lo más posible y eliminar los residuos de humedad; una vez procesados, se tomaron fotografías digitales y se elaboraron los esquemas correspondientes con ayuda del programa Corel Draw v. X7. La descripción de las características de la línea lateral, se basó en la terminología descrita por Maruska (2001).

RESULTADOS

El sistema mecanorreceptor de la línea lateral en las especies de *Narcine* bajo estudio, sólo está presente en la región dorsal y se encuentra dividido en dos secciones. La primera corresponde a la línea lateral anterior, que se localiza sobre la región dorsal del disco cefálico, la cual a su vez se compone de tres canales: supraorbital, infraorbital e hiomandibular. La segunda sección del SMLL está integrada por la línea lateral posterior, localizada en la porción dorso-lateral del tronco hasta la aleta caudal.

A continuación se describen por primera ocasión y, de modo comparativo, las principales estructuras que componen el SMLL de las especies de *Narcine* analizadas.

Canal Supraorbital (SO): es una estructura que se origina de una ramificación del canal hiomandibular, la cual atraviesa en dirección de la sección interorbital el espacio comprendido entre el ojo y el espiráculo; dicha ramificación muestra un mayor grado de desarrollo hacia la región anterior del disco cefálico.

Canal infraorbital (IO): estructura localizada en la sección antero-lateral de cada ojo, la cual está fuertemente ligada a la proyección anterior del canal hiomandibular y presenta proyecciones dirigidas hacia la parte anterior del disco cefálico.

Canal hiomandibular (HYO): este canal es muy evidente en los narcínidos, ya que se encuentra asociado a los órganos eléctricos, a los cuales rodea en todo su contorno; el canal izquierdo confluye con el derecho, por detrás

de los espiráculos y sobre la inserción de la sinarcualia con el condrocraqueo. En esta sección, el HYO se ramifica anteriormente, dando origen al canal supraorbital (SO) y corre a través del espacio que existe entre el ojo y el espiráculo, dando origen al canal infraorbital (IO).

Línea lateral posterior (LLP): dicha estructura se origina en el borde interno del extremo posterior del canal HYO y corre lateralmente a cada lado del tronco, hasta alcanzar el final de la columna vertebral; presenta proyecciones dirigidas hacia los costados desde su origen, por detrás del HYO, hasta la base de la primera aleta dorsal y hacia el interior, a partir de ese punto.

Se presenta una clave dicotómica para la separación de especies de *Narcine* en México, con base en la morfología su línea lateral:

- 1a Canal hiomandibular con numerosas ramificaciones elongadas 2
- 1b Canal hiomandibular con pocas ramificaciones cortas *Narcine vermiculatus*
- 2a Canal infraorbital con numerosas ramificaciones secundarias (a manera de racimo) *Narcine entemedor*
- 2b Canal infraorbital con pocas ramificaciones secundarias, nunca a manera de racimo *Narcine bancroftii*

Narcine bancroftii (Griffith & Smith, 1834)
Figura 1A

Nombre común: *Raya torpedo*, *Lesser Electric Ray*.

Distribución: vertiente del Atlántico occidental, desde Carolina del Norte hasta el noreste de Brasil, incluyendo el Golfo de México, Mar Caribe y las Antillas (McEachran & de Carvalho, 2002).

Línea lateral: los canales SO presentan varias proyecciones laterales con un solo poro al final de cada una, un poco más alargadas hacia el interior; estos canales son divergentes y se proyectan hacia los lados de las órbitas oculares. El canal IO se origina en el borde interno del canal HYO y se dirige hacia el margen del disco cefálico, con pocas ramificaciones laterales. El canal HYO presenta ramificaciones laterales que aumentan de longitud en dirección de la sección posterior, cuentan además con una proyección posterior oblicua y generalmente con tres ramificaciones. La LLP presenta proyecciones dirigidas hacia los costados, desde su origen y por detrás del HYO, hasta la base de la primera aleta dorsal y hacia

el interior; a partir de ese punto, la LLP se proyecta hacia la parte inferior del urostilo.

Narcine entemedor Jordan & Starks, 1895
Figura 1B

Nombre común: *Raya eléctrica gigante*, *Gigant Electric Ray*.

Distribución: vertiente del Pacífico oriental, desde la costa occidental de Baja California y Golfo de California, hasta Perú (McEachran, 1995).

Línea lateral: los canales SO presentan proyecciones laterales numerosas, en el ápice y hacia los costados, estos canales son convergentes y están proyectados hacia el interior de las órbitas oculares. Los canales IO presentan numerosas ramificaciones laterales de tamaño moderado, las cuales nunca llegan hasta el margen anterior del disco cefálico. El canal HYO cuenta con varias ramificaciones laterales, que aumentan en su longitud hacia la sección posterior; presenta además, una proyección posterior oblicua y sin ramificaciones. La LLP se proyecta hacia los costados y parte inferior del urostilo, de modo similar a la raya torpedo.

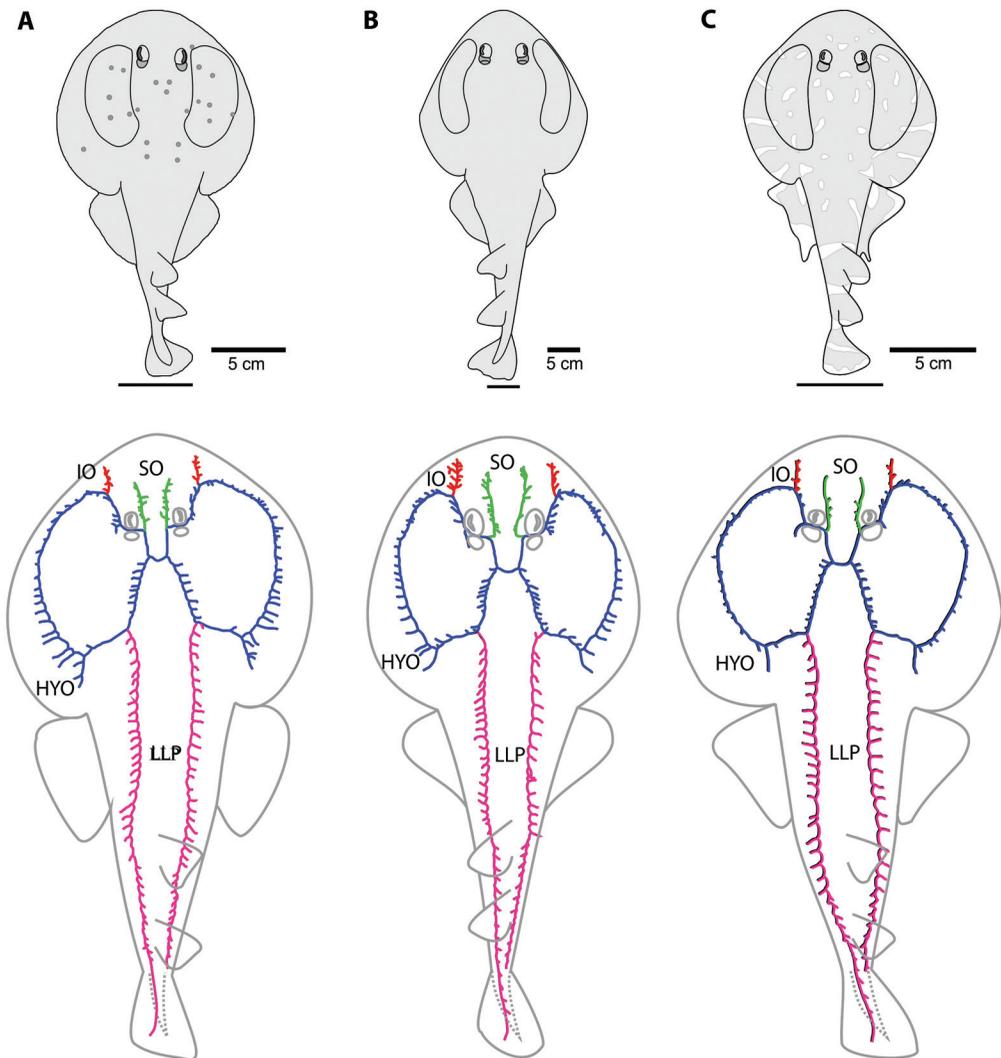


Fig. 1. Esquema de la línea lateral de las especies de *Narcine* en vista dorsal: **A)** *N. bancroftii*, **B)** *N. entemedor*, **C)** *N. vermiculatus*. (**SO; verde**) Canal supraorbital; (**IO; rojo**) Canal infraorbital; (**HYO; azul**) Canal hiomandibular; (**LLP; rosa**) Línea lateral posterior. Escala 5 cm.

Fig. 1. Diagram of the dorsal view of the lateral line in species of *Narcine*: **A)** *N. bancroftii*, **B)** *N. entemedor*, **C)** *N. vermiculatus*. (**SO; green**) Supraorbital canal; (**IO; red**) Infraorbital canal; (**HYO; blue**) Hyomandibular canal; (**LLP; pink**) Posterior lateral line. Scale 5 cm.

Narcine vermiculatus Breder, 1928

Figura 1C

Nombre común: *Raya eléctrica vermiculada, Vermiculate Electric Ray.*

Distribución: vertiente del Pacífico oriental, desde Mazatlán hasta Panamá (McEachran, 1995).

Línea lateral: los canales SO presentan ramificaciones laterales muy cortas y en menor número, casi todas ellas dirigidas hacia la parte interna; estos canales son convergentes y están proyectados hacia el interior de las órbitas oculares. Los canales IO, al igual que los SO, presentan pocas y muy cortas ramificaciones laterales. El canal HYO presenta

ramificaciones exteriores, casi todas del mismo tamaño y en menor número, pero con una sola proyección posterior horizontal simple, localizada por detrás de cada órgano eléctrico. La LLP presenta proyecciones menos numerosas y un poco más extendidas que en las especies anteriores; asimismo, la LLP se proyecta hacia la parte inferior del urostilo.

DISCUSIÓN

Los canales de la línea lateral de los narcínidos (*N. bancroftii*, *N. entemedor* y *N. vermiculatus*), solo están presentes en la parte dorsal del cuerpo; tal condición representa una característica propia del orden Torpediniformes y constituye un carácter derivado dentro del grupo de los selaquimorfos o tiburones (McEachran & Dunn, 1996). Por otra parte, la ausencia de una línea lateral en posición ventral dentro del grupo de rayas eléctricas, permite relacionarlos con los miembros del orden Pristiformes que se caracterizan por una condición similar y, en consecuencia, ubicarlos como un grupo basal dentro de los batoideos, aunque emparentados con el grupo de los tiburones (Nishida, 1990; McEachran & Aschliman, 2004; Portella & de Carvalho, 2013). A este respecto, Claeson (2014), señala que el empleo del conjunto de estructuras anatómicas de la línea lateral (e.g., la ausencia de línea lateral ventral, las ámpulas o poros sensoriales localizadas en la cortina nasal), constituyen elementos útiles para la clarificación taxonómica de diferentes grupos de Torpediniformes, como en este caso correspondió a *Narcine* spp.

Por otra parte, las diferencias observadas en la disposición y arreglo estructural de la línea lateral anterior, en las tres especies de narcínidos, corresponden a un mayor número de ramificaciones de los canales infraorbital y supraoccipital de *N. entemedor* y la presencia de un menor número en *N. vermiculatus*. El número de ramificaciones y, en particular, la presencia de una línea lateral con canales supraorbitales e infraorbitales, sumamente ramificados en su sección anterior, de acuerdo con diversos autores (Kalmijn, 1974; Maruska

& Tricas, 1998, 2004; Maruska, 2001; Shibuya, Zuanon, Araújo, & Tanaka, 2010; Marzullo, Wueringer, Jnr, & Collin, 2011; Kempster et al., 2012; Sáez, Lamilla, & Pequeño, 2014), está en relación a la búsqueda de alimento y la detección sensorial de los movimientos de las masas de agua de su entorno.

La presencia de un menor número de ramificaciones del SMLL dorsal de la raya vermiculada, permite suponer una menor capacidad de esta especie para detectar su alimento. Sin embargo, se ha determinado que la presencia de menor número de ramificaciones en estos canales, representa una característica del grupo de los Torpediniformes (Maruska, 2001), que permite diferenciarlos de otros batoideos como: Rajiformes y Myliobatiformes, en donde dichas ramificaciones se presentan en mayor cantidad. En este mismo sentido Maruska (2001), señala que la función mecanorreceptora asociada a la disminución de estos canales y la ausencia de una línea lateral ventral, se suple con la presencia de las vesículas de Savi y los órganos eléctricos.

La presencia alrededor de los órganos eléctricos de un canal hiomandibular (HYO) bien desarrollado, fue muy notoria en *N. bancroftii*, en donde las ramificaciones laterales están más elongadas; mientras que en *N. entemedor*, dichas ramificaciones están menos desarrolladas; y son demasiado cortas o casi ausentes en *N. vermiculatus*. A este respecto, Portella & de Carvalho (2013), mencionan que el desarrollo de los canales hiomandibulares alrededor de los órganos eléctricos, representa un carácter diagnóstico que agrupa a los miembros del orden Torpediniformes. Asimismo, se ha determinado que el desarrollo notable de estos canales, también se presenta en relación con el tamaño de las aletas pectorales, ya que entre mayor sea la superficie que cubren dichos canales, mayor será la información que el organismo pueda detectar del movimiento de la columna de agua (Maruska & Tricas, 1998; Maruska, 2001; Sáez et al., 2014).

En relación a la línea lateral posterior, se pudo observar un menor número de ramificaciones en *N. vermiculatus*, aunque algo

más extendidas que es sus congéneres que se caracterizan por ser más cortas, pero se presentan en mayor cantidad. En las tres especies de narcinidos analizados, se pudo observar que la porción terminal de la línea lateral posterior, se curva ligeramente hacia la región posterior del urostilo en la aleta caudal.

A pesar de la similitud morfológica y de la organización estructural de la línea lateral de *Narcine* spp., se pudieron identificar algunas diferencias en el número de ramificaciones secundarias y la proyección que muestran dichas estructuras, así como en relación al número de poros y su arreglo espacio-corporal. Atributos que resultaron de gran utilidad para la diferenciación de las especies bajo estudio, los cuales podrán ser empleados en la clarificación taxonómica de otros grupos de batoideos; además de que podrían emplearse como caracteres informativos para la reconstrucción filogenética de Torpediniformes y batoideos en general.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue apoyado por medio del proyecto SIP 20160767 “Taxonomía y ecología de especies selectas de peces teleósteos y condríctios con distribución en el Pacífico mexicano”. AFGA agradece los apoyos recibidos de los Programas COFAA y EDI IPN, y SNI-CONACyT. JDT agradece al CONACyT el apoyo recibido a través del sistema de becas de posgrado.

RESUMEN

Se presenta la descripción de la composición y arreglo estructural del sistema de la línea lateral de tres especies de rayas eléctricas (*Narcine bancroftii*, *N. entemedor* y *N. vermiculatus*). Las tres especies muestran los canales supraorbital (SO), infraorbital (IO), hiomandibular (HYO) y de la línea lateral posterior (LLP), menos ramificados que en otros batoideos. *Narcine entemedor* difiere de sus congéneres por la gran ramificación de los canales SO e IO, los cuales convergen en la región inter-orbital; en *N. vermiculatus* estos canales presentan una condición similar, pero con una menor ramificación. En contraste *N. bancroftii* presenta los canales divergentes (dirigidos hacia afuera de la región inter-orbital). Los canales HYO están localizados en la periferia de los órganos eléctricos en estas especies;

en *N. bancroftii* las ramificaciones se extienden hacia la región posterior, mientras que en las demás especies están reducidas (*N. entemedor*) o casi ausentes (*N. vermiculatus*). La LLP es de forma curva y está dirigida hacia el urostilo, asimismo muestra un gran número de ramificaciones, excepto en *N. vermiculatus*. La información sobre el arreglo y el número de poros sobre el sistema de canales de la LL en *Narcine*, puede ser de utilidad para la distinción taxonómica de sus especies, tal como ha sido corroborado para otros Torpediniformes.

Palabras clave: rayas eléctricas; sistema de la línea lateral; Torpediniformes; carácter taxonómico.

REFERENCIAS

- Claeson, K. M. (2014). The impacts of comparative anatomy of electric rays (Batoidea: Torpediniformes) on their systematic hypotheses. *Journal of Morphology*, 275(6): 597-612.
- Coombs, S., Bleckmann, H., Fay, R. R., & Popper, A. N. (2014). *The lateral line system*. Nueva York: Springer.
- Kalmijn, A. J. (1971). The electric sense of sharks and rays. *Journal of Experimental Biology*, 55(2), 371-383.
- Kalmijn, A. J. (1974). The detection of electric fields from inanimate and animate sources other than electric organs. In T. H. Bullock, R. H. Hartline, A. J. Kalmijn, P. Laurent, R. W. Murray, H. Scheich, ... & T. Szabo (Eds.), *Electroreceptors and Other Specialized Receptors in Lower Vertebrates* (Vol. 3). Berlin: Springer Science & Business Media.
- Kalmijn, A. J. (1982). Electric and magnetic field detection in elasmobranch fishes. *Science*, 218(4575), 916-918.
- Kempster, R. M., McCarthy, I. D., & Collin, S. P. (2012). Phylogenetic and ecological factors influencing the number and distribution of electroreceptors in elasmobranchs. *Journal of Fish Biology*, 80(5), 2055-2088.
- Lovejoy, N. R. (1996). Systematics of myliobatoid elasmobranchs: with emphasis on the phylogeny and historical biogeography of neotropical freshwater stingrays (Potamotrygonidae: Rajiformes). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 117(3), 207-257.
- Maruska, K. P. (2001). Morphology of the mechanosensory lateral line system in elasmobranch fishes: ecological and behavioral considerations. In T. C. Tricas, & S. H. Gruber (Eds.), *The behavior and sensory biology of elasmobranch fishes: an anthology in memory of Donald Richard Nelson* (pp. 47-75). Netherlands: Springer.
- Maruska, K. P., & Tricas, T. C. (1998). Morphology of the mechanosensory lateral line system in the Atlantic stingray, *Dasyatis sabina*: the mechanotactile hypothesis. *Journal of Morphology*, 238(1), 1-22.

- Maruska, K. P., & Tricas, T. C. (2004). Test of the mechanotactile hypothesis: neuromast morphology and response dynamics of mechanosensory lateral line primary afferents in the stingray. *Journal of Experimental Biology*, 207(20), 3463-3476.
- Marzullo, T. A., Wueringer, B. E., Jnr, L. S., & Collin, S. P. (2011). Description of the mechanoreceptive lateral line and electroreceptive ampullary systems in the freshwater whipray, *Himantura dalyensis*. *Marine and Freshwater Research*, 62(6), 771-779.
- McEachran, J. D., & Aschliman, N. (2004). Phylogeny of Batoidea. In J. C. Carrier, J. A. Musick, & M. R. Heithaus (Eds.), *Biology of Sharks and their Relatives* (pp. 79-113). Boca Raton: CRC Press.
- McEachran, J. D., Dunn, K. A., & Miyake, T. (1996). Interrelationships of the batoid fishes (Chondrichthyes: Batoidea). In M. L. J. Stiassny, L. R. Parenty, & G. D. Johnson (Eds.), *Interrelationships of fishes* (pp. 63-84). San Diego: Academic Press.
- McEachran, J. D. & de Carvalho, M. R. (2002). Narciniidae. 518-523. In K. E. Carpenter (Ed.), *The living marine resources of the Western Central Atlantic*. Volume 1 (pp. 518-523). Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaerans. FAO species identification guide for fishery purposes and American Society of Ichthyologist and Herpetologists, Publication No. 5. Rome: FAO and European Commission.
- McEachran, J. D. (1995). Narciniidae. 769-771. In W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter, & V. H. Niem. *Guía para identificación de especies para los fines de pesca: Pacífico centro-oriental* (Vol. II, pp. 769-771). Roma: FAO.
- Montgomery, J. C., & Walker, M. M. (2001). Orientation and navigation in elasmobranchs: which way forward? In T. C. Tricas, & S. H. Gruber (Eds.), *The behavior and sensory biology of elasmobranch fishes: an anthology in memory of Donald Richard Nelson* (pp. 109-116). Netherlands: Springer.
- Nishida, K. (1990). Phylogeny of the suborder Myliobatoidei. *Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 37(1-2), 1-108.
- Parker, T. J., & Haswell, W. A. (1987). *Zoología. Cordados* (Vol. 2). Barcelona: Reverté.
- Paulin, M. G. (1995). Electroreception and the compass sense of sharks. *Journal of Theoretical Biology*, 174(3), 325-339.
- Pearson, R. G., & Ball, J. N. (1981). *Lecture notes on vertebrate zoology*. Oxford: Halsted Press.
- Portella, R. M., & de Carvalho, M. R. (2013). *Distribuição e morfologia dos canais da linha lateral em raia e sua relevância sistemática (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Batoidea)* (Master thesis). Universidad de Sao Paulo, Brasil.
- Ragno, M. P. (2013). *Distribuição e morfologia dos canais da linha lateral em raia e sua relevância sistemática (Chondrichthyes: Elasmobranchii: Batoidea)* (Doctoral dissertation). Universidad de São Paulo, Brazil.
- Rivera-Vicente, A. C., Sewell, J., & Tricas, T. C. (2011). Electrosensitive spatial vectors in elasmobranch fishes: implications for source localization. *PLoS One*, 6(1), e16008.
- Sáez, S., Lamilla, J., & Pequeño, G. (2014). Morfología del sistema mecanosensorial de la línea lateral de *Zearaja chilensis* (Batoidea: Rajidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(1), 55-59.
- Shibuya, A., Zuanon, J., Araújo, M. L. G. D., & Tanaka, S. (2010). Morphology of lateral line canals in Neotropical freshwater stingrays (Chondrichthyes: Potamotrygonidae) from Negro River, Brazilian Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 8(4), 867-876.