

Navarro-Flores, J., May-Tec, A.L.. 2023. Particularidades en el conocimiento de la biología del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus* del golfo de México. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 5(1): 51-50. doi 10.26359/52462.0423



# Particularidades en el conocimiento de la biología del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus* del golfo de México

## Particularities in the knowledge of the biology of the genus *Sphoeroides* and *Lagocephalus* from the Gulf of Mexico

*Jaime Navarro-Flores\* y Ana Luisa May-Tec*

Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del golfo de México (EPOMEX),  
Universidad Autónoma de Campeche

\* autor de correspondencia: [jnavarro@uacam.mx](mailto:jnavarro@uacam.mx)

---

doi 10.26359/52462.0423

Recibido 27/junio/2023. Aceptado 20/octubre/2023

*JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático*

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.

---



## Resumen

El orden Tetraodontiforme alberga a los peces globo, conocidos científicamente bajo los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, que se encuentran entre las criaturas marinas más fascinantes y enigmáticas. Habitan las aguas marinas, estuarinas e incluso los cuerpos de agua dulce de las regiones tropicales. Actualmente este orden está representado por 105 géneros y 435 especies. Los peces globo tienen la fascinante habilidad de aumentar de tamaño su cuerpo mediante la ingesta de agua o aire, con la finalidad de evitar ser depredados. Los peces globo tienen un ciclo de reproducción anual con picos de desoves durante los meses más cálidos, considerando la temperatura y salinidad como condición óptima. El género *Sphoeroides* y *Lagocephalus* son considerados omnívoros con preferencia por una dieta carnívora. Lo que los convierte en peces ricos en proteínas de alta calidad, ácidos grasos  $\Omega 3$ . Además de contener minerales y vitaminas esenciales. Sin embargo, estos peces presentan neurotoxinas; como la tetrodotoxina (TTX) que a menudo es mortal para el humano cuando la consume. Pero, estas toxinas tienen potencial farmacéutico, debido a la capacidad de bloqueo de los canales de sodio se usa para tratar el dolor en pacientes con cáncer terminal o como analgésico e incluso para controlar las adicciones por opioides. En contraste, la acuicultura para estas especies, particularmente para *Lagocephalus laevis* se presenta como una gran oportunidad, ya que el cultivo de estas especies bajo condiciones controladas se puede evitar toxicidad que presenta en su intestino, lo que lo podría hacer más atractivo para el consumo humano, además se contribuye a la conservación de la especie y a la seguridad alimentaria en la demanda de proteína.

**Palabras clave:** peces globo, Tetraodontiforme, Tetrodotoxina, Tetraodontidae

## Abstract

The order Tetraodontiforme has the puffer fish, known scientifically under the genera *Sphoeroides* and *Lagocephalus*, they are among the most fascinating and enigmatic marine creatures. They inhabit marine, estuarine, and even freshwater bodies of tropical regions. Currently this order is represented by 105 genera and 435 species. Pufferfish have the fascinating ability to increase their body size by ingesting water or air, to avoid being preyed on. Pufferfish have an annual reproductive cycle with spawning peaks during the warmer months, considering temperature and salinity as optimal conditions. The genus *Sphoeroides* and *Lagocephalus* are considered omnivorous with a preference for a carnivorous diet. What makes them fish rich in high quality protein, fatty acids  $\Omega 3$ . In addition to containing essential minerals and vitamins. However, these fishes have neurotoxin, such as tetrodotoxin (TTX) which is often fatal to humans when consumed. But these toxins have pharmaceutical potential, due to their ability to block sodium channels, they are used to treat pain in patients with terminal cancer or as an analgesic and even to control opioid addictions. In contrast, aquaculture for these species, particularly for *Lagocephalus laevis*, is presented as a great opportunity, since the cultivation of these species under controlled conditions can avoid toxicity that it presents in its intestine, which could make it more attractive for consumption human, it also contributes to the conservation of the species and food security in the demand for protein.

**Keywords:** Puffer fish, Tetraodontiform, Tetrodotoxin, Tetraodontidae



## Introducción

La diversidad marina está representada por miles de especies a nivel global y a medida que se realizan estudios son sorprendentes los hallazgos. Está gran diversidad actualmente es representada por 35 300 especies registradas de teleósteos (Teleostei) (Froese y Pauly, 2023a) que representan aproximadamente el 50% de todas las especies de vertebrados. Dentro del grupo de los teleósteos, el orden Tetraodontiforme es el hogar de los peces globo, científicamente conocidos bajo los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, que son ampliamente reconocidos como algunas de las criaturas marinas más fascinantes, en gran parte debido a su asombrosa habilidad para inflar sus cuerpos. Los peces globo (Familia Tetraodontidae), es representada por 28 géneros con un total de 193 especies, las cuales comúnmente son llamados, botetes, pufferfish, ballonfish, bubblefish, pez sapo y pichón de mar (Fricke *et al.*, 2022). Se distribuyen en los océanos Pacífico, Índico y Atlántico incluido el golfo de México y mar Caribe, en las aguas costeras de las regiones tropicales y mares cálidos, incluidos los arrecifes de coral o las praderas marinas. Aunque la mayoría de los peces globo marinos se encuentran en las regiones costeras, algunos son oceánicos (por ejemplo, *Lagocephalus lagocephalus*) (Del Moral-Flores y Huidobro-Campos, 2023; Santhanam, 2018).

A lo largo de la literatura científica, estos fascinantes organismos se han estudiado desde diversas perspectivas, dando lugar a la generación de conocimiento que engloba estudios de biología y aspectos reproductivos en las especies: *Lagocephalus laevis*, *L. sceleratus*, *Sphoeroides greeleyi*, *S. maculatus*, *S. nephelus* y *S. testudineus* (Aydin, 2011; Denadai *et al.*, 2012; Laroche y Davis, 1973; Peniche-Pérez *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2002; Schultz *et al.*, 2002), estudios sobre su ecología en *S. testudineus* (Thiem *et al.*, 2013), han evaluado el cultivo en sistemas semi-cerrado con *S. maculatus* (Merriner y Laroche, 1977; Valenti, 1975), investigaciones con relación a la edad, crecimiento y relaciones longitud-peso en *S. maculatus*, *S. testu-*

*dineus* y *S. nephelus* (Laroche y Davis, 1973; Pauly, 1991; Poot-López *et al.*, 2017; Tzeek-Tuz, 2013). Además, se ha investigado la asociación trófica, la influencia ambiental, la distribución temporal y el desarrollo de la pesquería en *S. annulatus*, *S. greeleyi*, *S. testudineus* (Fávaro *et al.*, 2009; Guevara *et al.*, 2007; Ojeda-Ruiz *et al.*, 2016). Sin embargo, la gran mayoría de investigaciones sobre los peces globos se centra en su toxicidad; ya que, son considerados peces venenosos, esto por la tetrodotoxina que almacenan en su cuerpo, capaz de causar muertes en personas; las especies que han sido objeto de estos estudios son: *L. lagocephalus*, *L. laevis*, *S. dorsalis*, *S. greeleyi*, *S. maculatus*, *S. nephelus*, *S. spengleri* y *S. testudineus* (Burklew y Morton, 1971; Chen *et al.*, 2002; Etheridge *et al.*, 2006; Sabrah *et al.*, 2006; Giusti *et al.*, 2019; Kosker *et al.*, 2019; Landsberg *et al.*, 2006; Nagashima *et al.*, 2012; Núñez-Vázquez *et al.*, 2013; Núñez-Vázquez *et al.*, 2000; Pinto *et al.*, 2019; Saoudi *et al.*, 2008; Thuy *et al.*, 2020).

Por esta razón el objetivo del presente trabajo es la recopilación del conocimiento actual de estas criaturas marinas (*Sphoeroides* y *Lagocephalus*), con presencia en el golfo de México, subrayando su importancia ecológica, económica y médica. En primer lugar, se abordará la biología de los peces globo del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, ilustrando su taxonomía, morfología y comportamiento. A continuación, la anatomía de estos peces será proporcionada con una visión detallada de su fisiología externa. También se examinarán las peculiaridades de la reproducción de estas especies, incluyendo sus ciclos de vida y estrategias reproductivas. Posteriormente, se explorará la relación longitud-peso, que tiene implicaciones significativas para la evaluación del crecimiento y la salud de sus poblaciones. Además, se aborda su ecología y asociación trófica, relacionadas con la interacción con otras especies y su papel en la cadena alimentaria. Desde una perspectiva más antropocéntrica, también se aborda el valor nutricional de los peces globo, enfocándose



en su papel como fuente de alimento para los humanos y en las consideraciones dietéticas que se derivan de su consumo, a pesar de su reputación de

ser venenosos. Se expondrán las toxinas que poseen estos peces y su potencial valor farmacéutico para el desarrollo de medicamentos.

## Biología

### Taxonomía: Tetraodontidae

Los peces globo presentan una notable diversidad en tamaños, formas y en su forma de vida (Matsuura, 2015). Actualmente el orden Tetraodontiforme Bonaparte, 1831 está conformado por diez familias: Aracanidae Hollard, 1860, Balistidae Rafinesque, 1810, Diodontidae Bonaparte, 1835, Molidae Bonaparte, 1835, Monacanthidae Nardo, 1843, Ostraciidae Rafinesque, 1810, Tetraodontidae Bonaparte, 1831, Triacanthidae Bleeker, 1859, Triacanthodidae Gill, 1862 y Triodontidae Bleeker, 1859, con un total de 105 géneros y 435 especies (Fricke *et al.*, 2022; Froese y Pauly, 2023b).

La familia Tetraodontidae, que abarca un total de 28 géneros y 193 especies distintas, constituye el

44.4 % de todas las especies en el orden Tetraodontiforme. Entre los géneros con presencia en México, *Sphoeroides* y *Lagocephalus* destacan por su relevancia debido a la alta demanda que generan. Cada uno de estos géneros cuenta con especies que habitan tanto en el Océano Pacífico como en el golfo de México (véase la tabla 1).

### Anatomía de los peces globo

Los peces pertenecientes al orden Tetraodontiforme al igual que la familia Tetraodontidae se consideran un grupo monofilético, respaldado por pruebas de morfología y otros rasgos observados tanto en sus etapas larvarias como en los adultos (Acero y Polanco, 2006). Reconocidos como la cúspide de

**Tabla 1.** Especies del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, de la familia Tetraodontidae con presencia en territorio mexicano.

Orden	Familia	Género	Especies	Distribución
Tetraodontiformes	Tetraodontidae	<i>Sphoeroides</i>	<i>annulatus</i>	P
			<i>dorsalis</i>	GM
			<i>greeleyi</i>	GM
			<i>lispus</i>	P
			<i>lobatus</i>	P
			<i>nephelus</i>	GM
			<i>pachygaster</i>	CG
			<i>parvus</i>	GM
			<i>rosenblatti</i>	P
			<i>sechurae</i>	P
			<i>spengleri</i>	GM
			<i>testudineus</i>	GM
			<i>trichocephalus</i>	P
		<i>Lagocephalus</i>	<i>laevigatus</i>	GM
			<i>lagocephalus</i>	CG

P= Océano Pacífico, GM= golfo de México, CG= Circumglobal (Océano Pacífico y Atlántico (golfo de México)).



la evolución dentro de los teleósteos, estos peces se caracterizan por la ausencia de estructuras como los huesos parietales, nasales e infraorbitales, y la posible presencia del posttemporal, que, en caso de existir, se encuentra firmemente fusionado al hiomandibular y los palatinos unidos al cráneo, sus aberturas branquiales carecen de opérculos, sin presencia de aletas pélvicas. Además, su maxila generalmente se encuentra unida o fusionada a la premaxila, y sus escamas suelen adoptar formas modificadas, como espinas, escudos o láminas, se les llama tetraodontidos por que tienen cuatro dientes, dos arriba y dos abajo, utilizan a los caracoles como afilador de sus dientes esto mediante el frotamiento de sus dientes contra la concha del caracol (Del Moral-Flores y Huidobro-Campos, 2023; Mallard-Colmenero *et al.*, 1981; Nelson, 2006; Nelson *et al.*, 2016; Santhanam, 2018).

Los miembros de esta familia tienen la capacidad de aumentar su tamaño corporal al ingerir aire o agua como una estrategia defensiva y antidepredatoria, o incluso para intimidar a sus enemigos, como se ilustra en la figura 1 (Mallard-Colmenero *et al.*, 1981; Helfman *et al.*, 2009; Stump *et al.*, 2018). No obstante, cuando el pez se siente seguro, expulsa el aire o agua y vuelve a su apariencia original.

Las especies de estos géneros presentan un cuerpo plateado o pigmentado, dorso oscuro y a menudo con patrones de reticulaciones o manchas vermiculadas claras. Ocasionalmente en los costados presentan puntos negros redondeados, tienen un vientre pálido de color amarillo a blanco, aletas pálidas. La mayoría de los peces globo son demersal, algunas especies son pelágicas. Suelen ser solitarios, aunque algunas especies se juntan especialmente con fines de apareamiento (Mallard-Colmenero *et al.*, 1981; Santhanam, 2018).

Los peces globo al igual que otro grupo de peces teleósteos tienen sus depredadores, pero estos varían según su zona de distribución. Algunos son los peces lagartos del género *Synodus* spp. de la familia Synodontidae, camarón mantis (Stomatopoda), tiburones tigre (*Galeocerdo cuvier*), tiburón limón

(*Negaprion brevirostris*), serpientes marinas (*Enhydra* spp.), bagres (*Arius* spp.), cobia (*Rachycentron canadum*), atún (*Katsuwonus pelamis*), pulpo (*Octopus vulgaris*), pez vela (*Istiophorus platypterus*) e inclusive diversas aves marinas son depredadoras de las diferentes especies de pez globo, sin considerar al mismo humano (Helfman *et al.*, 2009; Santhanam, 2018; Ulman *et al.*, 2021).

## Reproducción

La información disponible sobre los aspectos reproductivos en los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, de las siguientes especies *S. dorsalis*, *S. greeleyi*, *S. nephelus*, *S. parvus*, *S. spengleri*, *S. testudineus*, y *L. laevigatus*, con presencia en el golfo de México es nula, solo se dispone de información sobre *S. nephelus* en la región de la península de Yucatán. De acuerdo con los resultados obtenidos por Peniche-Pérez *et al.* (2019), esta especie mantiene una proporción sexual 1:1 durante todo un ciclo anual. Su periodo reproductivo abarca los meses de agosto a mayo, presentando los picos de desove de febrero y marzo (antes del periodo de secas) y con un periodo de inactividad reproductiva en junio y julio (previo al inicio de la estación de lluvias). La talla de primera madurez sexual en hembras para esta especie es de 14.93 cm de longitud total.

Existe información sobre las especies anteriormente mencionadas, pero para una región diferente, al del golfo de México. En Paraná, Brasil, *S. testudineus* se reproduce de septiembre a enero; esta especie es considerada desovadora por lotes. El mismo periodo reproductivo aplica para *S. greeleyi* (Rocha *et al.*, 2002; Schultz *et al.*, 2002).

En Caraguatatuba, Brasil se tiene registrada información de reproducción sobre la especie *Lagocephalus laevigatus*, sin embargo, en dicha zona estuarina solo capturaron ejemplares juveniles con un rango de tallas de 4.8 a 15.4 cm de longitud total; por lo que se deduce que a dicha zona la utilizan como área de refugio de depredadores; pero se estima que su periodo de reproducción abarca el periodo de agosto a noviembre (Denadai *et al.*, 2012).





**Figura 1.** Apariencia del pez globo del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*: a y b) *Sphoeroides testudienus* con distensión abdominal por ingesta de aire o agua. c) *S. testudienus* sin distensión abdominal. d) Ejemplar *Lagocephalus laevis*, al momento de salir del agua presenta distensión abdominal, resaltando las espínulas de en su abdomen. e) Apreciación del tamaño real de un ejemplar de *L. laevis*. f) Apariencia del ejemplar *L. laevis* sin distensión abdominal.

Los peces de la familia Tetraodontidae presentan un par de gónadas con forma simétrica, su color va cambiando de acuerdo con el estadio de maduración gonadal en el que se encuentren. Las gónadas de las hembras y machos se diferencian fácilmente, ya que las de los machos son de forma triangular y sin lumen, y la de las hembras su forma es redonda y con un lumen central. Con la nula

información disponible, se puede deducir, que la reproducción generalmente ocurre de primavera a verano, la eclosión tiene una duración aproximada de una semana (Mallard-Colmenero *et al.*, 1981). *Sphoeroides* y *Lagocephalus* al igual que otros peces globo, tienen un ciclo de reproducción anual. En el golfo de México, el pico de la temporada de reproducción ocurre durante los meses más cálidos, que



coinciden con las mayores abundancias de alimento y condiciones óptimas de temperatura y salinidad (Tzeek-Tuz, 2013).

Como estrategia de apareamiento, se sabe que la mayoría de los peces globo tienen un comportamiento de apareamiento complejo. A menudo, los machos atraen a las hembras a través de una exhibición ritual que puede incluir la inflación de su cuerpo, cambios de color, patrones de natación únicos y diseños arquitectónicos de los nidos; como lo hace el pez globo japonés (*Torquigener albomaculosus*) (Clement *et al.*, 2020; Kaiser, 2020). Los miembros de *Sphoeroides* y *Lagocephalus* son ovíparos y las hembras suelen desovar más de una

vez en un mismo evento reproductivo al año. La fecundidad varía entre las especies y se correlaciona con el tamaño del cuerpo de la hembra. En *Lagocephalus* los huevos son pelágicos, lo que favorece la dispersión y colonización de nuevos hábitats. Sin embargo, *S. annulatus* los huevos son bentónicos, después de la fertilización (activación) de sus huevos estos presentan una capa adherente traslúcida, lo que permite la adherencia a sustratos específicos y evitar que las corrientes los lleven a sitios no deseados durante su desarrollo embrionario (Fujita y Honma, 1991; Rodríguez-Ibarra *et al.*, 2010; Martínez-Brown *et al.*, 2019).

## Relación longitud-peso

La información disponible sobre las diferentes especies de peces globo se concentra en la tabla 2. La especie *L. Lagocephalus* no cuenta con información reportada en relación con la longitud-peso. Los va-

lores de *b* cerca de 3 presentes en la tabla 2, generalmente indican que se trata de un pez de forma esférica (Amador-del Ángel *et al.*, 2015; Froese, 2006).

## Ecología y asociación trófica

Los peces globo del género *Sphoeroides* son conocidos por habitar áreas costeras poco profundas, estuarios y manglares, generalmente se localizan a profundidades que van desde los 0 hasta 48 m, y se le asocia con fondos blandos y con vegetación como *Thalassia testudinum* en la zona del Atlántico (Froese y Pauly, 2022). Son generalmente bentónicos, lo que significa que pasan la mayor parte de su tiempo cerca del lecho marino (Peniche-Pérez *et al.*, 2019). *Lagocephalus* a diferencia de sus congéneres, tienden a ser más oceánicos y pelágicos, se le captura a profundidades de hasta 180 m, pero tiende a estar cercano a la costa sobre fondos de lodo o arena. Es una especie que forma pequeñas agrupaciones. En cambio, *L. Lagocephalus* habita a profundidades de hasta 476 m; capturándolos usualmente a 100 m de profundidad (Froese y Pauly, 2022; Del Moral-Flores y Huidobro-Campos, 2023).

En términos de su asociación trófica, los peces globo son generalmente omnívoros con una preferencia por una dieta carnívora (Colmenero *et al.*, 1982; Chi-Espinola y Vega-Cendejas, 2013; Vasconcelos-Filho *et al.*, 1998; Denadai *et al.*, 2012). Tienen una amplia gama de dietas debido a su distribución global en una variedad de hábitats, pero tienden a alimentarse principalmente de invertebrados bentónicos (cangrejos, camarones, almejas, mejillones, caracoles y gusanos poliquetos) esto porque tienen fuertes mandíbulas poderosas que les permiten romper las conchas duras de estos invertebrados. También se alimentan de pequeños peces, generalmente los que son lo suficientemente pequeños como para ser tragados enteros. Ocasionalmente se han observado a peces globo consumiendo algas y otras formas de vegetación marina, aunque esto parece ser menos común (Jong, 2016). Como



**Tabla 2.** Datos disponibles de la relación longitud-peso de las especies del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, con presencia en el golfo de México.

Especie	Longitud (cm)			Peso (g)			a	b	valor r <sup>2</sup>	Crecimiento	Ubicación	Autor
	n	Min	Max	Min	Max							
<i>S. testudineus</i>	-	-	-	-	-		0.082	2.87	-	A-	Florida, USA	Pauly, 1991
<i>S. pachygaster</i>	379	9.5	45.5	26.4	1974		0.242	0.97	0.996	A-	Mar Mediterráneo	Ragonese <i>et al.</i> , 1997
<i>S. testudineus</i>	474	1.8	28	6.12	344		0.099	2.68	0.952	A-	Yucatán, México	Vega-Cendeja <i>et al.</i> , 2011
<i>S. spengleri</i>	99	4	11	4.68	35.43		0.208	2.12	0.887	A-		
<i>S. testudineus</i>	461	4.09	26.5	1.7	430		0.059	2.96	0.976	A-	Yucatán, México	Tzeek-Tuz <i>et al.</i> , 2012
<i>L. laevigatus</i>	118	3.4	16.8	1.08	72.91		0.027	2.82	0.978	A-	Brasil	Díaz <i>et al.</i> , 2014
<i>L. laevigatus</i>	376	24.3	62.8	198.5	3061.7		0.039	2.73	0.922	A-	Venezuela	Tagliafico <i>et al.</i> , 2015
<i>S. testudineus</i>	12	9	25.4	16.2	273.4		0.045	2.68	0.965	A-	Campeche, México	Amador-del Ángel <i>et al.</i> , 2015
<i>S. nephelus</i>	20	7	26.5	6.4	281.6		0.035	2.74	0.975	A-		
<i>S. nephelus</i>	384	14	29.8	52	530		0.025	2.92	0.958	A-	Yucatán, México	Poot-López <i>et al.</i> , 2017

Todas las diferentes especies del género *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, en sus diferentes zonas de muestreos y países presentan el tipo de crecimiento alométrico negativo (A-), lo que indica que primero aumentan su tamaño en longitud y posteriormente en volumen (peso), lo que concuerda con la forma ovalada o esférica de los peces globo.

dieta específica está varía de acuerdo con la especie y la ubicación, ya que algunos peces globo pueden tener una preferencia particular por ciertos tipos de

moluscos y crustáceos (Chi-Espínola y Vega-Cendejas, 2013).

## Valor nutricional

El valor nutricional de estos peces puede variar significativamente dependiendo de la especie y su dieta. En general, son una fuente rica en proteínas de alta calidad, ácidos grasos omega-3 y también contienen una serie de minerales (calcio,

fósforo, magnesio, yodo, hierro y zinc) y vitaminas esenciales (A, B, C, D, E y K) (Halver y Hardy, 2002; Li *et al.*, 2014; Nurjanah *et al.*, 2015; Nurullahoglu y Ulusoy, 2013; Santa *et al.*, 2015).

## Toxinas y su valor farmacéutico

Sin embargo, debido a la presencia de toxinas en algunos tejidos o órganos de estos peces, como el hígado y las gónadas, deben ser evitadas para el consumo humano o en su caso debe ser manejada con cuidado. Por ejemplo, los chefs que preparan

sashimi de “fugu” (*Takifugu rubripes*) en Japón deben estar especialmente formados y certificados debido al alto riesgo por envenenamiento (Santhanam, 2018).





Las toxinas presentes en los peces globo, incluyendo *Sphoeroides* y *Lagocephalus* los hace uno de los vertebrados más venenosos del mundo, debido a las sustancias potentes y a menudo mortales. La más conocida es la tetrodotoxina (TTX), una neurotoxina que bloquea los canales de sodio (Na) de las células nerviosas, inhibiendo la transmisión del impulso nervioso y, por ende, causando parálisis y posiblemente la muerte (Halstead, 2018; Katikou *et al.*, 2022; Pinto *et al.*, 2019; Santhanam, 2018).

Otros efectos por intoxicación pueden ser:

- Entumecimiento y hormigueo alrededor de la boca, que luego se puede extender al resto del cuerpo.
- A medida que avanza la intoxicación, puede ocurrir parálisis. Esto puede afectar el habla, la movilidad y eventualmente la respiración.
- También se pueden presentar trastornos gastrointestinales, como náuseas, vómitos y diarrea.
- En casos graves, la tetrodotoxina puede causar arritmias cardíacas, lo que puede resultar en paro cardíaco.

Algunas especies pueden contener suficiente toxina en su cuerpo para matar a varias docenas de personas, aunque esta varía dependiendo de la especie y de factores ambientales (Etheridge *et al.*, 2006). Es importante mencionar que la toxina de

estos peces no se produce por ellos mismos, sino que es producida por bacterias simbióticas (vía endógena) o que se acumulan exógenamente a través de su dieta (Biessy *et al.*, 2019).

A pesar de su peligro estas toxinas han demostrado tener un potencial farmacéutico significativo debido a sus propiedades únicas de bloqueo de los canales de sodio. Aunque la TTX es extremadamente tóxica y potencialmente letal, se está estudiando su uso en una variedad de aplicaciones médicas, incluyendo el tratamiento del dolor; se investiga como un posible analgésico para ciertas condiciones de dolor crónico como en pacientes con cáncer terminal y migrañas (Bucciarelli *et al.*, 2021; Santhanam, 2018). La TTX se ha utilizado como un anestésico local (Kohane *et al.*, 2003). Además, se puede usar para prevenir o retrasar los efectos graves de otras toxinas peligrosas, como la aconitina (Ono *et al.*, 2013). Igualmente, la TTX se ha sugerido que puede ser útil en el tratamiento de abstinencia de opiáceos o adicciones con las drogas (Shi *et al.*, 2009).

El potencial médico de la TTX es prometedor, pero el uso de esta toxina en la medicina es aún un área de investigación activa para el desarrollo de tratamientos médicos y farmacológicos innovadores, por el peligro que esta misma representa.

## Acuicultura

La acuicultura, la crianza de peces y otros organismos acuáticos en condiciones controladas, se ha vuelto cada vez más importante en las últimas décadas como medio para satisfacer la demanda global de pescado (FAO, 2020). La acuicultura de peces globo, incluyendo los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus*, no es común en comparación con otros tipos de peces, debido a una serie de factores que incluyen la toxicidad de algunas especies y el tamaño del mercado es limitado. Sin embargo, en algunas regiones, especialmente en Asia, donde especies de peces globo son consideradas un man-

jar, se ha experimentado con su cultivo en especies del género *Fugu* (*Takifugu rubripes*), obteniéndose en sus tejidos poca o ninguna toxicidad, lo que los convierte en una actividad económica atractiva y de bajo riesgo en la comercialización de este producto para el consumo humano (Hamasaki *et al.*, 2017; Noguch y Arakawa, 2008; Noguchi *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2016). Para más información sobre su cultivo en jaulas marinas y en sistemas de recirculación acuícola, puede consultar a Jia *et al.* (2018).



Actualmente se están desarrollando y perfeccionando métodos para el cultivo de peces globo. Las estrategias incluyen el uso de jaulas flotantes, estanques y sistemas de recirculación acuícola (SRA o RAS) (Wang *et al.*, 2016).

El crecimiento y la reproducción son aspectos fundamentales por considerar para el cultivo de peces globo. La comprensión de la biología reproductiva, los ciclos de vida y los requerimientos de alimentación de estas especies es esencial para su cultivo exitoso (Zanuy y Carrillo, 1993). Por otra parte, en México existen los registros de reproducción y cultivos del pez globo *Sphoeroides annulatus*, conocido localmente como botete diana, especie que se distribuye en el litoral del océano Pacífico, la cual cuenta con el desarrollo de la biotecnología para la producción masiva de juveniles, el control de su reproducción y cultivo larvario (Abdo *et al.*, 2013).

La acuicultura de peces globo presenta tanto desafíos como oportunidades. Existe demanda de peces globo en el mercado, especialmente internacional en diversas partes de Asia, sin embargo, la toxicidad de estos peces puede representar un riesgo para la salud si no se manejan y preparan adecuadamente. No obstante, con la garantía de cero toxicidad a través de su cultivo mediante la acuicultura, los peces globo podrían representar una oportunidad económica significativa a nivel local e internacional. Finalmente, la acuicultura de peces globo tiene implicaciones tanto para la conservación como para la seguridad alimentaria. Al aliviar la presión sobre las poblaciones silvestres, la acuicultura puede contribuir a la conservación de estas especies, además de contribuir con la seguridad alimentaria (Béné *et al.*, 2016).

## Parasitosis

Las infecciones parasitarias en los peces son de gran importancia y los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus* no son la excepción. Debido al interés en el cultivo de estos géneros, es importante considerar la presencia de los parásitos que albergan, los cuales pueden ser significativos para su cultivo. Fajer-Ávila *et al.* (2008) reportan altas mortalidades de *Sphoeroides annulatus* en cultivos del Pacífico Mexicano ocasionado por el ectoparásito *Pseudochondracanthus diceraus* (tabla 3).

De las especies de parásitos reportadas para *Sphoeroides*, podemos encontrar especies tanto de importancia económica (*Heterobothrium ecuadori*, *Heterobothrium lamothiei*, *Pseudochondracanthus diceraus*, *Neobenedenia melleni* y *Neobenedia* sp.) como de importancia zoonótica (*Huffmanella* sp.) (Gallegos *et al.*, 1993) (tabla 3). Es importante resaltar la presencia del copépodo *Pseudochondracan-*

*thus diceraus* en distintas especies de *Sphoeroides* en el Pacífico y golfo de México. El comportamiento de este copépodo en ambas localidades sugiere una posible translocación de parásitos asociado a una distribución natural de los hospederos o como consecuencias de actividades antropogénicas “introducción de hospederos” (Goedknecht *et al.*, 2016).

Para el género *Lagocephalus* se conoce muy poco acerca de su parasitofauna. Sin embargo, se ha reportado que puede albergar especies de crustáceos parásitos, los cuales son de importancia en la acuicultura como *Argulus* sp. Por lo tanto, conocer la presencia y el comportamiento de estos parásitos puede ayudar a mitigar las posibles pérdidas económicas a causa de las enfermedades o en casos severos la mortalidad de peces debido a parasitosis en el cultivo de *Lagocephalus* y *Sphoeroides* spp.

**Tabla 3.** Especies de parásitos reportadas para los géneros *Sphoeroides* y *Lagocephalus* en el Pacífico y golfo de México.

Hospedero	Grupo de parásito	Parásito	Distribución	Referencia
<i>Sphoeroides annulatus</i>	Monogeneos	<i>Heterobothrium ecuadori</i>	P	Moravec y Fajer-Avila, 2000, Fajer-Ávila <i>et al.</i> , 2004; Fajer-Ávila <i>et al.</i> , 2008
		<i>Neobenedenia melleni</i>		
		<i>Neobenedia</i> sp.		
	Digeneos	<i>Homalometron longisinosum</i>		
		<i>Bianium plicatum</i>		
		<i>Lintonium vibex</i>		
		<i>Phyllodistomum mirandai</i>		
		<i>Trichodina</i> spp.		
	Nematodos	<i>Huffmanella mexicana</i>		
	Copépodos	<i>Lepeophtheirus simplex</i>		
		<i>Pseudochondracanthus diceratus</i>		
<i>Sphoeroides testudineus</i>	Monogeneos	<i>Heterobothrium lamothei</i>	GM	Vidal-Martínez y Mendoza-Franco, 2008; Pech <i>et al.</i> , 2009; Martínez-Aquino <i>et al.</i> , 2020
		<i>Apharyngostrigea</i> sp.		
		<i>Stephanostomum</i> sp.		
	Digeneos	<i>Sclerodistomum spoeoroidis</i>		
		<i>Cryptogonimidae</i> gen. sp.		
		<i>Heterophyidae</i> gen. sp.		
		<i>Xystretrum solidum</i>		
		<i>Spiroxys</i> sp.		
	Nematodos	<i>Pseudoterranova</i> sp.		
		<i>Cucullanidae</i> gen. sp.		
		<i>Hysterothylacium</i> sp.		
		<i>Contracaecum</i> sp.		
		<i>Acantocefalos</i>		
	Cestodos	<i>Acanthocephala</i> gen. sp.		
		<i>Trypanorhyncha</i> gen. sp.		
<i>S. nephelus</i>	Copépodos	<i>Pseudochondracanthus diceraus</i>		May-Tec <i>et al.</i> , 2022
<i>S. parvus</i>				
<i>S. spengleri</i>				
<i>Lagocephalus laevigatus</i>	Copépodos	<i>Caligus haemulonis</i>		
		<i>Taeniocanthus lagocephali</i>		

P= Océano Pacífico, GM= golfo de México



## Conclusiones y perspectivas

El estudio de la biología reproductiva de *Spherooides* y *Lagocephalus* en el golfo de México todavía presenta vacíos importantes para el entendimiento de estas especies. Sin embargo, el conocimiento que se tiene en la actualidad contribuye significativamente en la información general sobre estos peces. Promoviendo y creando la necesidad para el desarrollo de futuras líneas de investigaciones.

A pesar de la poca información que se tiene hasta el momento. Se considera que el género *Lagocephalus* presenta mayor oportunidad para el desarrollo de la acuicultura en el sureste del país, debido a que este género presenta un mayor tamaño en comparación con las especies del género *Spherooides* (figura 1) con presencia en el golfo de México. En primera instancia se considera a *Lagocephalus laevigatus* por ser una especie que se encuentra cercana a la costa y tener mayor presencia en el litoral, en contraste con *Lagocephalus lagocephalus* que es considerada una especie más oceánica, con capturas muy espo-

rádicas en la región del golfo de México. Además, estas dos especies son de mayor tamaño.

Sin duda la acuicultura de los peces globo de ambos géneros *Spherooides* y *Lagocephalus* es un campo prometedor, pero aún se necesitan investigaciones para superar los desafíos y maximizar el potencial de esta industria. Con el enfoque y la inversión adecuada, la acuicultura de peces globo puede convertirse en una parte valiosa de nuestra respuesta a la creciente demanda de pescado.

En conjunto, esta revisión proporciona una visión integral de la biología, ecología, dieta, valor nutricional, toxinas y su potencial farmacéutico de los peces del género *Lagocephalus* y *Spherooides* en el golfo de México. Se espera que este artículo fomente el interés y la investigación en estas especies, contribuyendo así al conocimiento científico y al desarrollo de posibles aplicaciones farmacéuticas y a su cultivo.

## Referencias

- Abdo, De la P.M., Rodríguez-Ibarra, L.E., García-Aguilar, N., Velasco-Blanco, G., Ibarra-Castro, L., 2013. Biotechnology for the mass production of juvenile bullseye puffer fish *Spherooides annulatus*: Hormonal induction and larval rearing. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 48(3): 409–420. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572013000300001>
- Acero, A., Polanco, A., 2006. Peces del orden Tetraodontiformes de Colombia. *Biota colombiana*, 7(1): 155–164.
- Amador-del Ángel, L.E., Guevara-Carrió, E., Brito, R., Wakida-Kusunoki, A.T., 2015. Length-weight relationships of fish species associated with the mangrove forest in the southwestern Terminos Lagoon, Campeche (Mexico). *J. Appl. Ichthyol.* 31: 228–230. <https://doi.org/10.1111/jai.12490>
- Aydin, M., 2011. Growth, reproduction and diet of pufferfish (*Lagocephalus sceleratus* Gmelin, 1789) from Turkey's Mediterranean Sea coast. *Turk. J. Fish Aquat. Sci.* 11:589–596.
- Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E.H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Thilsted, S.H., Troell, M., Williams, M., 2016. Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence. *World Dev.* 79, 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.007>
- Bleeker, P., 1859. Negende bijdrage tot de kennis der vischfauna van Banka. *Natuurkundig Tijdschrift voor Nederlandsch Indië*, 18: 359–378. [26 May, ref. 16984].
- Biessy, L., Boundy, M.J., Smith, K.F., Harwood, D.T., Hawes, I., Wood, S.A., 2019. Tetrodotoxin in marine bivalves and edible gastropods: A mini-review. *Chemosphere*, 236, 124404. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124404>
- Bonaparte, C.L., 1831. Saggio di una distribuzione metodica degli animali vertebrati, (1831), Roma, 78 pp. Saggio d'unadist ribuzione . vertebrati a sangue freddo, (1832), Roma, 86 pp. also in Giornale Arcadico di Scienze Lettere ed Arti, 52 (1831), 155–189. Saggio di una distribuzione metodica degli animali vertebrati (1832), 89–123. [pagination in all 4 works differs. We give those in 'Giornale Arcadico' 52, often cited but perhaps not earliest] [ref. 4978].
- Bonaparte, C.L., 1835. Prodromus systematis ichthyologiae. Nuovi Annali delle Scienze naturali Bologna (Ser. 1), 2



- (4), 181–196, 272–277. [As a separate *Prodromus systematicus* ichthyologiae, 21 pp., distributed 1835 Journal evidently dates to 1840] [ref. 32242].
- Bucciarelli, G.M., Lechner, M., Fontes, A., Kats, L.B., Eisthen, H.L., Shaffer, H.B. 2021. From poison to promise: The evolution of tetrodotoxin and its potential as a therapeutic. *Toxins*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/toxins13080517>
- Burklew, M.A., Morton, R.A., 1971. The toxicity of Florida gulf puffers, genus *Sphoeroides*\*. *Toxicon*, 9, 205–210.
- Chen, T., Hsieh, Y., Tsai, Y., Shiau, C., Hwang, D., 2002. Identification of Species and Measurement of Tetrodotoxin in Dried Dressed Fillets of the Puffer Fish, *Lagocephalus lunaris*. *J. F. P.* 65, 1670–1673. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-65.10.1670>
- Chi-Espinola, A.A., Vega-Cednejas, M.E. 2013. Hábitos alimenticios de *Sphoeroides testudineus* (Perciformes: Tetraodontidae) en el sistema lagunar de Ría Lagartos, Yucatán, México. *Rev. Biol. Trop.* 61: 849–858.
- Clement, L., Campbell, C., Hasibi, A., Zare-Behtash, H., Valyrakis, M., 2020. Scour-resilient bio-inspired designs: The male Japanese puffer fish nest. EGU General Assembly 2020.
- Del Moral-Flores, L.F., Huidobro-Campos, L., 2023. Firsts records and expansion of the geographic distribution of the oceanic puffer, *Lagocephalus lagocephalus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae), in the Gulf of Mexico. *Cienc. Mar.* 49. <https://doi.org/10.7773/cm.y2023.3327>
- Denadai, M.R., Santos, F.B., Bessa, E., Bernardes, L.P., Turra, A., 2012. Population biology and diet of the puffer fish *Lagocephalus laevis* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) in Caraguatatuba Bay, south-eastern Brazil. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 92: 407–412. <https://doi.org/10.1017/S0025315411001299>
- Dias, J.F., Fernandez, W.S., Schmidt, T., 2014. Relación longitud-peso de 73 especies de peces capturados en la plataforma continental interna del sudeste de Brasil. *Lat. Am. J. Aquat.* 42: 127–136.
- Etheridge, S., Deeds, J., Hall, S., White, K., Flewelling, L., Abbott, J., Landsberg, J., Conrad, S., Bodager, D., Jackow, G., 2006. Detection methods and their limitations: PSP toxins in the southern puffer fish *Sphoeroides nephelus* responsible for human poisoning events in Florida in 2004. *Afr. J. Mar. Sci.* 28: 383–387. <https://doi.org/10.2989/18142320609504183>
- FAO., 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Fajer-Ávila, E.J., Martínez-Rodríguez, I., Abdo de la Parra, M.I., Álvarez-Lajonchere, L., Betancourt-Lozano, M., 2008. Effectiveness of freshwater treatment against *Lepoepithoeus simplex* (Copepoda: Caligidae) and *Neobenedenia* sp. (Monogenea: Capsalidae), skin parasites of bullseye puffer fish, *Sphoeroides annulatus* reared in tanks. *Aquaculture* 284: 277–280.
- Fajer-Ávila, E.J., Roque, A., Aguilar, G., Duncan, N., 2004. Patterns of Occurrence of the Platyhelminth Parasites of the Wild Bullseye Puffer (*Sphoeroides annulatus*) off Sinaloa, Mexico. *J. Parasitol.* 90: 415–418.
- Fávaro, L.F., Celton de Oliveira, E., de Oliveira Brunow, A.V., Fenerich Verani, N., 2009. Environmental influences on the spatial and temporal distribution of the puffer fish *Sphoeroides greeleyi* and *Sphoeroides testudineus* in a Brazilian subtropical estuary. *Neotrop. Ichthyol.* 7: 275–282.
- Fricke, R., Eschmeyer, W.N., Van der Laan, R., 2022. *Eschmeyer's catalog of fishes: References*. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
- Froese, R., 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Froese, R., Pauly, D., 2023a. *FishBase*. www.Fishbase.Org.
- Froese, R., Pauly, D., Editors., 2023b. *FishBase*. Tetraodontiformes. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=10332> on 2023-10-12
- Fujita, S., Honma, Y., 1991. Induction of ovarian maturation and development of eggs, larvae and juveniles of the puffer, *Takifugu exascurus*, reared in the laboratory. *Japanese J. Ichthyol.* 38, 211–218. <https://doi.org/10.11369/jji1950.38.211>
- Gállego, J., Riera, C., Portus, M., 1993. *Huffmanella* sp. eggs (Nematoda: Trichosomoididae), as a human spurious parasite in a child from Barcelona (Spain). *Folia Parasitol.* 40: 208–210.
- Gill, T.N., 1862. Remarks on the relations of the genera and other groups of Cuban fishes. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 14: 235–242. [ca. June, ref. 1664].
- Giusti, A., Guarducci, M., Stern, N., Davidovich, N., Golani, D., Armani, A., 2019. The importance of distinguishing pufferfish species (*Lagocephalus* spp.) in the Mediterranean Sea for ensuring public health: Evaluation of the genetic databases reliability in supporting species identification. *Fish. Res.* 210: 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.10.003>
- Goedknecht, M.A., Feis, M.E., Wegner, K.M., Luttikhuisen, P.C., Buschbaum, C., Camphuysen, K., van der Meer, J., Thielges, D.W., 2016. Parasites and marine invasions: Ecological and evolutionary perspectives. *J. Sea Res.* 113: 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.12.003>
- Guevara, E., Sánchez, A.J., Rosas, C., Mascaró, M., Brito, R., 2007. Asociación trófica de botetes en Laguna de Términos Campeche. *Universidad y Ciencia: Trópico Húmedo*, 23, 151–166. [www.ujat.mx/publicaciones/uciencia](http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia)
- Halstead, B., 2018. Fish Toxins. In Y.H. Hui, D. Kitts, P.S. Stanfield (Eds.), *Foodborne Disease Handbook: Vol. IV (Second Edition)*. CRC Press.
- Halver, J.E., Hardy, R.W., 2002. *Fish Nutrition*, Third ed. Academic Press, California.
- Hamasaki, M., Takeuchi, Y., Yazawa, R., Yoshikawa, S., Kadomura, K., Yamada, T., Miyaki, K., Kikuchi, K., Yoshizaki, G., 2017. Production of Tiger Puffer *Takifugu*





- rubripes* offspring from triploid grass puffer *Takifugu niphobles* Parents. *Mar. Biotechnol.* 19, 579–591. <https://doi.org/10.1007/s10126-017-9777-1>
- Helfman, G.S., Collette, B.B., Facey, D.E., Bowen, B.W., 2009. The diversity of fishes: biology, evolution, and ecology (2nd ed.). WILEY-BLACKWELL. [www.seaphotos.com](http://www.seaphotos.com).
- Hollard, H.L.G.M., 1860. Memoire sur le squelette des poissons plectognathes etudie au point de vue des caracteres qu'il peut fournir pour la classification. *Annales des Sciences Naturelles, Paris (Zoologie), Serie 4*, 13: 5–46. [ref. 31941].
- Jellyman, P., Booker, D., Crow, S., Bonnett, M., Jellyman, D., 2013. Does one size fit all? An evaluation of length–weight relationships for New Zealand's freshwater fish species. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* 47: 450–468. <https://doi.org/10.1080/00288330.2013.781510>
- Jia, Y., Jing, Q., Xing, Z., Gao, X., Zhai, J., Guan, C., Huang, B., 2018. Effects of two different culture systems on the growth performance and physiological metabolism of tiger pufferfish (*Takifugu rubripes*). *Aquaculture*, 495: 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.049>
- Jong, E.C., 2016. Fish and shellfish poisoning: toxic syndromes. In C.A. Sanford, P.S. Pottinger, E.C. Jong (Eds.), *Travel and tropical medicine manual*. pp. 451–456.
- Kaiser, M.J., 2020. Pufferfish nest building reveals a skilled architect. *J. Fish Biol.* 97: 1295–1295. <https://doi.org/10.1111/jfb.14584>
- Katikou, P., Gokbulut, C., Kosker, A.R., Campàs, M., Ozogul, F., 2022. An updated review of Tetrodotoxin and its peculiarities. *Mar. Drugs*. 20: 47. <https://doi.org/10.3390/md20010047>
- Kohane, D.S., Smith, S.E., Louis, D.N., Colombo, G., Ghoroghchian, P., Hunfeld, N.G.M., Berde, C.B., Langer, R., 2003. Prolonged duration local anesthesia from tetrodotoxin-enhanced local anesthetic microspheres. *Pain*, 104: 415–421. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(03\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(03)00049-6)
- Kosker, A.R., Özogul, F., Ayas, D., Durmus, M., Ucar, Y., Regenstein, J.M., Özogul, Y., 2019. Tetrodotoxin levels of three pufferfish species (*Lagocephalus* sp.) caught in the North-Eastern Mediterranean Sea. *Chemosphere*, 219, 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.010>
- Landsberg, J.H., Hall, S., Johannessen, J.N., White, K.D., Conrad, S.M., Abbott, J.P., Flewelling, L.J., Richardson, R.W., Dickey, R.W., Jester, E.L., Etheridge, S.M., Deeds, J.R., Van Dolah, F.M., Leighfield, T.A., Zou, Y., Beaudry, C.G., Benner, R.A., Rogers, P.L., Scott, P.S., Steidinger, K.A., 2006. Saxitoxin puffer fish poisoning in the United States, with the first report of pyrodinium bahamense as the Putative toxin source. *Environ. Health Perspect.* 114, 1502–1507. <https://doi.org/10.1289/ehp.8998>
- Laroche, J.L., Davis, J., 1973. Age, growth, and reproduction of northern puffer, *Sphoeroides maculatus*. *Fish. Bull.* 71, 955–963. <https://scholarworks.wm.edu/vimsarticles/650>
- Li, Y., Liya, W., Ningping, T., 2014. Analysis and evaluation of nutritional composition of farmed male pufferfish (*Takifugu Obscurus*). *SHS Web of Conferences*, 6, 03010. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20140603010>
- Mallard-Colmenero, L., Yáñez-Arancibia, A., Amezcua-Linares, F., 1981. Taxonomía, biología y ecología de los Tetraodontidos de la Laguna Términos, sur del golfo de México (Pisces: Tetraodontidae). *Anal. del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 1–77.
- Martínez-Aquino, A., García-Teh, J.G., Ceccarelli, F.S., Aguilar-Aguilar, R., Vidal-Martínez, V.M., Aguirre-Macedo, M.L., 2020. New morphological and molecular data for *Xystrettrum solidum* (Gorgoderidae, Gorgoderinae) from *Sphoeroides testudineus* (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) in Mexican waters. *ZooKeys* 925, 141–161. <https://doi.org/10.3897/zookeys.925.49503>
- Martínez-Brown, J.M., Cetzal-Aké, C.A., Ibarra-Castro, L., Sánchez-Cárdenas, R., Maldonado-Amparo, M.A., Rojo-Cebreros, A.H., Sánchez-Téllez, J.L., 2019. Embryonic development of the bullseye puffer *Sphoeroides annulatus* (Tetraodontidae): A morphofunctional approach to ontogenetic steps. *J. Morphol.* 280, 948–967. <https://doi.org/10.1002/jmor.20994>
- Matsuura, K., 2015. Taxonomy and systematics of tetraodontiform fishes: a review focusing primarily on progress in the period from 1980 to 2014. *Ichthyol. Res.* 62, 72–113. <https://doi.org/10.1007/s10228-014-0444-5>
- May-TEC, A.L., Baños-Ojeda, C., Mendoza-Franco, E.F., 2022. Parasitic crustaceans (Branchiura and Copepoda) parasitizing the gills of puffer fish species (Tetraodontidae) from the coast of Campeche, Gulf of Mexico. *ZooKeys* 1089: 73–92. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1089.79999>
- Merriner, J.V., Laroche, J.L., 1977. Fecundity of the northern puffer, *Sphoeroides maculatus*, from Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*, 18: 81–83. <https://doi.org/10.2307/1350368>
- Moravec, F., Fajer-Ávila, E., 2000. *Huffmanella mexicana* sp. (Nematoda: Trichosomoididae) from the marine fish *Sphoeroides annulatus* in Mexico. *J. Parasitol.* 86: 1229–1231.
- Nagashima, Y., Matsumoto, T., Kadoyama, K., Ishizaki, S., Taniyama, S., Takatani, T., Aarakawa, O., Terayama, M., 2012. Tetrodotoxin poisoning due to smooth-backed blowfish *Lagocephalus inermis* and toxicity of *L. inermis* caught off the Kyushu Coast, Japan. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi*. 53(2): 85–90. <https://doi.org/10.3358/shokueishi.53.85>
- Nardo, G.D., 1843. Considerazione sopra alcune nuove famiglie de' Syngnathi e de' Plectognathi, e sui caratteri anatomici che le distinguono. *Atti della Quarta Riunione degli Scienziati Italiani, Padova, (for 1842)*, pp. 244–245. [ref. 31940].
- Nelson, J.S. (2006). *Fishes of the World*. Fourth Edition.
- Nelson, J.S., Grande, T.C., Wilson, M.V., 2016. *Fishes of the World*. Fifth Edition. John Wiley & Sons.



- Noguch, T., Arakawa, O., 2008. Tetrodotoxin – Distribution and accumulation in aquatic organisms, and cases of human intoxication. *Mar. Drugs*, 6, 220–242. <https://doi.org/10.3390/md6020220>
- Noguchi, T., Arakawa, O., Takatani, T., 2006. TTX accumulation in pufferfish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 1, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2005.10.006>
- Núñez-Vázquez, E.J., Yotsu-Yamashita, M., Sierra-Beltrán, A.P., Yasumoto, T., Ochoa, J.L., 2000. Toxicities and distribution of tetrodotoxin in the tissues of puffer fish found in the coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Toxicon*, 38: 729–734.
- Núñez-Vázquez, E., Poot Delgado, C.A., Yotsu-Yamashita, M., Domínguez-Sólis, G., Hernández-Sandoval, F.E., Bustillos-Guzmán, J.J., 2013. Toxicidad de los botetes silvestres *Sphoeroides* spp., y *Lagocephalus* spp., de las costas de Campeche, México. XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Del Mar.
- Nurjanah, N., Jacob, A.M., Marhamah, A.S., Hidayat, T., 2015. Minerals and heavy metals of banana puffer fish from sea of region gebang, Cirebon, west java. *J. Agric. Sci. Eng.* 1, 28–33. <http://www.publicscienceframework.org/journal/jase>
- Nurullahoglu, Z.U., Ulusoy, E., 2013. Fatty acid composition of *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) (Osteichthyes: Tetraodontidae). *Marmara Fen. Bilimleri Dergisi*. 4, 184–191. <https://doi.org/10.7240/MJS.2013254097>
- Ojeda-Ruiz, M.Á., Cervantes-Díaz, J.L., Fiol-Ortíz, J., Burnes-Romo, L.A., 2016. Emerging fisheries in subtropical coastal lagoons: *Sphoeroides annulatus* in Magdalena-Almejas Bay, BCS, Mexico (1998-2008). *Ocean Coast. Manage.* 125: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.02.009>
- Ono, T., Hayashida, M., Tezuka, A., Hayakawa, H., Ohno, Y., 2013. Antagonistic effects of tetrodotoxin on aconitine-induced cardiac toxicity. *J. Nippon Med. Sch.* 80, 350–361. <https://doi.org/10.1272/jnms.80.350>
- Pauly, D., 1991. Growth of the checkered puffer *Sphoeroides testudineus*: postscript to papers by targett and Pauly & Ingles. *Fishbyte*, Newsletter of the Network of Tropical Fisheries Scientist, 9, 19–22.
- Pech, D., Vidal-Martínez, V.M., Aguirre-Macedo, M.L., Gold-Bouchot, G., Herrera-Silveira, J., Zapata-Pérez, O., Marcogliese, D.J., 2009. The checkered puffer (*Sphoeroides testudineus*) and its helminths as bioindicators of chemical pollution in Yucatan coastal lagoons. *Sci. Total Environ.* 407, 2315–2324. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.054>
- Peniche-Pérez, J.C., González-Salas, C., Villegas-Hernández, H., Díaz-Gamboa, R., Aguilar-Perera, A., Guillen-Hernández, S., Poot-López, G.R., 2019. Reproductive biology of the southern pufferfish, *Sphoeroides nephelus* (Actinopterygii: Tetraodontiformes: Tetraodontidae), in the northern coast off the Yucatan Peninsula, Mexico. *Acta Ichthyol. Piscat.* 49, 133–146. <https://doi.org/10.3750/AIEP/02516>
- Pinto, E.P., Rodrigues, S.M., Gouveia, N., Timóteo, V., Costa, P.R., 2019. Tetrodotoxin and saxitoxin in two native species of puffer fish, *Sphoeroides marmoratus* and *Lagocephalus lagocephalus*, from NE Atlantic Ocean (Madeira Island, Portugal). *Mar. Environ. Res.* 151: 104780. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104780>
- Poot-López, G., Díaz-Gamboa, R., González-Salas, C., Guillén-Hernández, S., 2017. Length-weight relationships of three fish species collected by recreational fishing in the northern coast of Yucatan Peninsula, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 33: 1249–1250. <https://doi.org/10.1111/jai.13442>
- Rafinesque, C.S., 1810. *Indice d'ittologia siciliana; ossia, catalogo metodico dei nomi latini, italiani, e siciliani dei pesci, che si rinvencono in Sicilia disposti secondo un metodo naturale e seguito da un appendice che contiene la descrizione de alcuni nuovi pesci siciliani*. Presso Giovanni del Nobolo, Messina, 70 pp., Pls. 1–2. [author given as Rafinesque Schmaltz, C.S. (this name was used by Rafinesque between 1810 and 1814), we use Rafinesque for simplicity] [ref. 3595]. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.6893>
- Ragonese, S., Jereb, P., Morara, U., 1997. Morphometric relationships of *Sphoeroides pachygaster* (Pisces-Tetraodontidae) of the Strait of Sicily (Mediterranean Sea). *Cab. Biol. Mar.* 38: 283–289.
- Rocha, C., Favaro, L.F., Spach, H.L., 2002. Biología reproductiva de *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus) (Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae) da gamboa do Baguacu, Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 19, 57–63.
- Rodríguez-Ibarra, L.E., Abdo-De La Parra, M.I., Rodríguez-Montes De Oca, G.A., Moreno-Hernández, M.S., Velasco-Blanco, G., García-Aguilar, N., Álvarez-Lajonchère, L.S., 2010. Evaluación de métodos para la eliminación de la capa adherente de los huevos del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Pisces: Tetraodontidae). *Rev Biol Mar Oceanogr.* 45, 147–151. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572010000100015>
- Sabrah, M.M., El-Ganainy, A.A., Zaky, M.A., 2006. Biology and toxicity of the pufferfish *Lagocephalus sceleratus* (GMELIN, 1789) from the Gulf of Suez. *Egypt. J. Aquat. Res.* 32: 283–297. <http://hdl.handle.net/1834/1452>
- Santa, K.I., Saritha, K., Gifson, H., Patterson, J., 2015. Quality assessment of fresh and dried puffer fish (*Lagocephalus lunaris*) obtained from Tuticorin, South East Coast of India. *W. J. F. M. S.* 7: 268–277.
- Santhanam, R., 2018. *Biology and ecology of toxic pufferfish*. CRC Press.
- Saoudi, M., Abdelmouleh, A., Kammoun, W., Ellouze, F., Jamoussi, K., El Feki, A., 2008. Toxicity assessment of the puffer fish *Lagocephalus lagocephalus* from the Tunisian coast. *Comptes Rendus - Biologies*, 331, 611–616. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.05.005>
- Schultz, Y.D., Favaro, L.F., Spach, H.L., 2002. Aspectos reproductivos de *Sphoeroides greeleyi* (Gilbert), Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae, da gamboa do Baguacu, Baía De Paranaguá, Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 19: 65–76.



- Shi, J., Liu, T.T., Wang, X., Epstein, D.H., Zhao, L.Y., Zhang, X.L., Lu, L., 2009. Tetrodotoxin reduces cue-induced drug craving and anxiety in abstinent heroin addicts. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 92: 603–607. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2009.02.013>
- Shipp, R.L. 2002. Tetraodontidae. In K.E. Carpenter (Ed.), *The living marine resources of the western central Atlantic* (Part 2, Vol. 3, pp. 1988–2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Stump, E., Ralph, G.M., Comerós-Raynal, M.T., Matsuura, K., Carpenter, K.E. 2018. Global conservation status of marine pufferfishes (Tetraodontiformes: Tetraodontidae). *Glob. Ecol. Conserv.* 14: e00388. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00388>
- Tagliafico, A., Rago, N., Rangel, M.S. 2015. Length-weight relationships of 22 commercial fish from Margarita Island, Venezuela. *J. Res. Biol.* 5: 1707–1712.
- Thiem, J.D., Hatry, C., Brownscombe, J.W., Cull, F., Shultz, A.D., Danylchuk, A.J., Cooke, S.J., 2013. Evaluation of radio telemetry to study the spatial ecology of checkered puffers (*Sphoeroides testudineus*) in shallow tropical marine systems. *Bull. Mar. Sci.* 89: 559–569. <https://doi.org/10.5343/bms.2012.1052>
- Thuy, L.V., Yamamoto, S., Kawaura, R., Takemura, N., Yama-ki, K., Yasumoto, K., Takada, K., Watabe, S., Sato, S., 2020. Tissue distribution of tetrodotoxin and its analogs in Lagocephalus pufferfish collected in Vietnam. *Fish. Sci.* 86: 1101–1110. <https://doi.org/10.1007/s12562-020-01460-y>
- Tzeek-Tuz, J., Bonilla-Gómez, J.L., Badillo-Alemán, M., Chiappa-Carrara, X., 2012. Length-weight relationship and parameters of growth for the checkered puffer *Sphoeroides testudineus* from a karstic tropical coastal lagoon: La Carbonera, Yucatan, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 28: 859–860. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.02032.x>
- Tzeek-Tuz, J.G., 2013. Biología de la reproducción de *Strogylura notata* y *Sphoeroides testudineus*, de la laguna “La Carbonera” en Sisal Yucatan Tesis de Maestría. UNAM.
- Ulman, A., Harris, H.E., Doumpas, N., Deniz Akbora, H., Al Mabruk, S.A., Azzurro, E., Bariche, M., Çiçek, B.A., Deidun, A., Demirel, N., Fogg, A.Q., Katsavenakis, S., Kletou, D., Kleitou, P., Papadopoulou, A., Ben Souissi, J., Hall-Spencer, J.M., Tiralongo, F., Yildiz, T., 2021. Low Pufferfish and Lionfish Predation in Their Native and Invaded Ranges Suggests Human Control Mechanisms May Be Necessary to Control Their Mediterranean Abundances. *Front. Mar. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.670413>
- Valenti, Robert J. (1975). Semi-Closed system culture of the Northern puffer, *Sphoeroides maculatus*. Proceedings of the Annual Meeting - World Mariculture Society, 6(1–4), 479–485. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1975.tb00041.x>
- Vasconcelos-Filho, A.D., Silva, K.D., Acioli, F.D., 1998. Hábitos alimentares de *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus, 1758) (Telesotei: Tetraodontidae), no canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, 26, 145–157.
- Vega-Cendejas, M.E., de Santillana, M.H., Arceo, D., 2012. Length-weight relationships for selected fish species from a coastal lagoon influenced by freshwater seeps: Yucatan peninsula, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 28: 140–142. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01875.x>
- Vidal-Martínez, V.M., Mendoza-Franco, E.F., 2008. *Heterobothrium lamothei* n. sp. (Monogenea: Diclidophoridae) from the gills of *Sphoeroides testudineus* (Pisces: Tetraodontidae) from the coast of Yucatán, Mexico. *Rev. Mex. Biodivers.* 79, 89–93.
- Wang, Q-L., Zhang, H-T., Ren, Y-Q., Zhou, Q., 2016. Comparison of growth parameters of tiger puffer *Takifugu rubripes* from two culture systems in China. *Aquaculture*, 453, 49–53. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.022>
- Zanuy, S., Carrillo, M., 1993. Técnicas de control de la reproducción en los teleósteos. In F. Castelló (Ed.), *Acuicultura* (pp. 143–156).