

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**ESTRUCTURA POBLACIONAL Y ZONAS POTENCIALES DE CRIANZA DEL
PARGO MANCHA *Lutjanus guttatus* (STEINDACHNER, 1869) EN LA COSTA
DEL PACÍFICO DE COSTA RICA, A TRAVÉS DE LA COMPOSICIÓN
ISOTÓPICA DE OXÍGENO ($\delta^{18}\text{O}$) EN OTOLITOS**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de
Posgrado en Biología para optar al grado y título de Maestría Académica en
Biología

BEATRIZ FARÍAS TAFOLLA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
2023

DEDICATORIA

A mis padres por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante.

A mis hermanas por el apoyo incondicional.

A Diego por el apoyo, la paciencia y los consejos.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica (UCR). A la Unidad de Investigación Pesquera y Acuicultura (UNIP) y el Módulo de Información Oceanográfica (MIO) del Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR-UCR), así como al Laboratorio de Ecología Pesquera del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), por facilitarme el equipo, recursos y uso de las instalaciones para el desarrollo de esta tesis.

Al Programa de Apoyo a Trabajos Finales de Graduación que brinda el Sistema de Estudios de Posgrado; así como a la Oficina de Becas de la Universidad de Costa Rica por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

Al comité de Tesis, Dr. Ingo S. Wehrtmann, Dr. Mario Espinoza Mendiola y Dra. Alfonsina E. Romo Curiel. Gracias por guiarme durante las diferentes etapas del desarrollo de esta tesis y por permitirme aprender de ustedes en este tiempo.

Al Dr. Oscar Sosa Nishizaki le agradezco las atenciones recibidas durante mi estancia en el Laboratorio de Ecología Pesquera del CICESE, así como su disposición, apoyo y enseñanzas que enriquecieron este proyecto. A la técnica M en C. Carmen Rodríguez por su valioso apoyo en el trabajo de laboratorio.

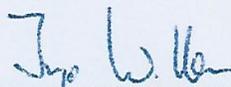
A todos los integrantes de la Unidad de Investigación Pesquera y Acuicultura (CIMAR, UCR) y del Laboratorio de Ecología Pesquera (CICESE), por crear tan buen ambiente de trabajo, por brindar apoyo incondicional y por compartir sus conocimientos e ideas.

A los pescadores artesanales por su entusiasmo, apoyo y colaboración a lo largo de este proyecto.

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Biología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría académica en Biología”



M. Sc. Marco Retana López
**Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado**



Dr. Ingo Wehrtmann
Director de tesis



Dr. Mario Espinoza Mendiola
Asesor

ALFONSINA E ROMO CURIEL

Dra. Alfonsina Romo Curiel
Asesora



Dr. Mahmood Sasa Marín
**Representante del Director
Programa de Posgrado**



Beatriz Farias Tafolla
Candidata

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE GENERAL	v
RESUMEN	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS	6
General.....	6
Específicos	6
CAPITULO 1. Variaciones demográficas del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (Perciformes: Lutjanidae) a lo largo del Pacífico de Costa Rica sugieren la existencia de unidades poblacionales separadas.	7
Resumen.....	8
Palabras clave.....	8
Abstract	9
Keywords.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12

RESULTADOS	18
DISCUSIÓN.....	29
AGRADECIMIENTOS.....	34
LITERATURA CITADA	35
CAPITULO 2. Análisis de la estructura poblacional del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (Perciformes: Lutjanidae) del Pacífico de Costa Rica, a través de la composición isotópica en otolitos.....	43
Resumen.....	44
Palabras clave	45
Abstract	45
Keywords.....	46
INTRODUCCIÓN.....	47
MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
RESULTADOS	55
DISCUSIÓN.....	68
AGRADECIMIENTOS.....	70
LITERATURA CITADA	71
CAPITULO 3. Identificación de hábitats esenciales del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (Perciformes: Lutjanidae) del Pacífico de Costa Rica a partir del isótopo estable $\delta^{18}\text{O}$ en otolitos.....	78
Resumen.....	79
Palabras clave	80

Abstract	80
Keywords	81
INTRODUCCIÓN	82
MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
RESULTADOS	92
DISCUSIÓN.....	106
AGRADECIMIENTOS.....	110
LITERATURA CITADA	110
CONCLUSIONES GENERALES	118
LITERATURA CITADA	119

RESUMEN

El pargo mancha *Lutjanus guttatus* se distribuye a lo largo del océano Pacífico, desde el norte de México hasta Perú y es una de las especies más abundantes en las zonas tropicales. A pesar de ser un recurso social y económicamente importante en Costa Rica, se desconoce si es una sola población o varias subpoblaciones las que son explotadas y los hábitats críticos de la especie. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la estructura poblacional y zonas potenciales de crianza del pargo mancha *L. guttatus* en la costa del Pacífico de Costa Rica, a través del análisis de la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en otolitos. Para este fin se obtuvieron las características demográficas de la especie, se midió la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en el núcleo y anillos de crecimiento marginales de otolitos para establecer si hay evidencia de diferencias en las condiciones de crianza y hábitat de los adultos entre zonas de captura. Así mismo se realizó la caracterización de las zonas de crianza y hábitat de los adultos. Los resultados obtenidos indicaron que existen variaciones demográficas entre los especímenes capturados en el Pacífico norte, Pacífico central y Pacífico sur de Costa Rica, lo cual sugiere la probable existencia de unidades de manejo diferenciadas. Sin embargo, en el análisis de la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en el núcleo y en el margen de los otolitos no se observaron diferencias significativas entre zonas de captura por lo cual se sugiere que aun cuando hay diferencias demográficas se trata de una sola población de *L. guttatus* en el Pacífico de Costa Rica. Finalmente, la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) presentó variaciones entre el núcleo y el margen de los otolitos dentro de todas las zonas de captura evidenciando migraciones ontogénicas. Las zonas de crianza se encuentran en sitios someros cercanas a la costa con temperaturas cálidas de 20 a 29°C, mientras que el hábitat de los adultos es más retirado de la costa, a mayor profundidad o cercano a zonas de surgencia y con temperaturas más frías (13 a 25°C). Estos resultados son cruciales para entender la estructura poblacional del pargo mancha y los hábitats

que ocupa. Se espera que la información contenida en el presente estudio sirva como línea base en el desarrollo de estrategias de manejo efectivas del pargo mancha como recurso pesquero importante en Costa Rica.

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1

- Tabla 1.** Clasificación de los cinco estadios de madurez sexual utilizado para el análisis macroscópico de gónadas de *Lutjanus guttatus* (FAO, 1975)... 15
- Tabla 2.** Información general de los organismos del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en la costa del Pacífico de Costa Rica..... 18
- Tabla 3.** Parámetros de la ecuación potencial de las relaciones corporales de *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en el Pacífico de Costa Rica. 21
- Tabla 4.** Número de individuos por grupos de edad de *Lutjanus guttatus* (N=90) capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en la costa del Pacífico de Costa Rica..... 27

CAPÍTULO 2

- Tabla 1.** Información general de los organismos de pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. DE: desviación estándar, N: número de organismos muestreados por zona. 56
- Tabla 1.** Información general de los organismos de pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. DE: desviación estándar, N: número de organismos muestreados por zona. 92

CAPÍTULO 3

- Tabla 2.** Valores promedio de temperatura superficial del mar (TSM), salinidad y composición isotópica del agua calculada (δw) para el Pacífico norte (PN), Pacífico central (PC) y Pacífico sur (PS) de Costa Rica de los años 1998 al 2014. 101

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Comunidades pesqueras de la costa del Pacífico de Costa Rica en donde se analizaron los desembarques para la obtención de especímenes del pargo mancha *Lutjanus guttatus* de enero del 2018 a diciembre del 2019. 14
- Figura 2.** Corte transversal de un otolito del pargo mancha *Lutjanus guttatus*. Los puntos amarillos indican los anillos de crecimiento y los números la edad estimada..... 17
- Figura 3.** Estructura de tallas (A) y estructura por peso (B) de pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 (N= 428) en la costa del Pacífico de Costa Rica. 20
- Figura 4.** Relación longitud total - peso para ambos sexos del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados en el Pacífico norte, central y sur de Costa Rica, entre enero del 2018 y diciembre del 2019. 22
- Figura 5.** Porcentaje de frecuencia mensual de los cinco estadios de madurez del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=428) capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en la costa del Pacífico de Costa Rica 23
- Figura 6.** Talla media de madurez sexual del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en el Pacífico norte, central y sur de Costa Rica. 25
- Figura 7.** Curva de crecimiento según el modelo de von Bertalanffy del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturado entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en el Pacífico norte, central y sur de Costa Rica..... 28

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Comunidades pesqueras ubicadas en la costa del Pacífico de Costa Rica en donde se recolectaron las muestras del pargo mancha *Lutjanus guttatus* durante la época lluviosa (mayo - noviembre) del 2018. 52

Figura 2. Corte transversal de un otolito del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> . Los puntos amarillos indican los anillos de crecimiento y la edad estimada.	53
Figura 3. Ubicación de las perforaciones del núcleo (N) y margen (M) de donde se obtuvieron las submuestras de CaCO ₃ en los otolitos del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> .	54
Figura 4. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el núcleo de los otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis.	57
Figura 5. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el margen de los otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis.	59
Figura 6. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar) medida en el núcleo (N=84) y margen (N=77) de otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> entre mayo y noviembre del 2018, de acuerdo con la zona de captura a lo largo del Pacífico de Costa Rica.	61
Figura 7. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar) medida en el núcleo de otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (N=84) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica.	63
Figura 8. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (promedio \pm desviación estándar) medida en el margen de otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (N=77) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica.	65
Figura 9. Edades estimadas del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> capturados en la costa del Pacífico de Costa Rica entre mayo y noviembre del 2018,	

determinada a través de la lectura de anillos de crecimiento en otolitos (N=90).....	66
Figura 10. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ medida en el núcleo de otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (N=84) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica, de acuerdo con el año de nacimiento.....	67
 CAPÍTULO 3	
Figura 1. Comunidades pesqueras ubicadas en la costa del Pacífico de Costa Rica en donde se recolectaron las muestras del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> durante la época lluviosa (mayo - noviembre) del 2018.	87
Figura 2. Corte transversal de un otolito del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> . Los puntos amarillos indican los anillos de crecimiento y la edad estimada.	88
Figura 3. Zonas de extracción de Carbonato de Calcio en el núcleo (N) y margen (M) de los otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i>	89
Figura 4. Edades estimadas del pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> capturados en la costa del Pacífico de Costa Rica entre mayo y noviembre del 2018, determinada a través de la lectura de anillos de crecimiento en otolitos (N=90).....	93
Figura 5. Composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el núcleo de los otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis.	95
Figura 6. Composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el margen de los otolitos sagitta de pargo mancha <i>Lutjanus guttatus</i> (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis estadístico.....	97

- Figura 7.** Relación isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ medida en (A) el núcleo (N=84) y (B) el margen (N=77) de otolitos sagitta de pargo mancha *Lutjanus guttatus* entre mayo y noviembre del 2018, de acuerdo con la zona de captura. 99
- Figura 8.** Temperaturas retrocalculadas a partir del $\delta^{18}\text{O}$ del núcleo (N=84) y margen (N=77) de los otolitos de pargo mancha *Lutjanus guttatus*, en el Pacífico norte (A), Pacífico central (B) y Pacífico sur (C) de Costa Rica. 103
- Figura 9.** Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ predichas (promedio \pm desviación estándar) en (A) el núcleo (N=84) y (B) margen (N=77) de los otolitos sagitta de pargo mancha *Lutjanus guttatus* del Pacífico de Costa Rica. 105

LISTA DE ABREVIATURAS

CID: Carbono inorgánico disuelto

CIMAR: Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología

DE: Desviación estándar

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

INCOPESCA: Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura

LT: Longitud total

MIO: Módulo de Información Oceanográfica

PC: Pacífico central

PN: Pacífico norte

PS: Pacífico sur

PSU: Unidades Prácticas de Salinidad

PT: Peso total

TMMS: Talla Media de Madurez Sexual

TSM: Temperatura Superficial del Mar

VPDB: Vienna Peedee Belemnite

INTRODUCCIÓN GENERAL

La captura extractiva global de peces ha incrementado considerablemente en los últimos 40 años; actualmente, el 87.2% de la captura anual promedio corresponde a recursos marinos principalmente para el consumo humano (FAO, 2018; Pauly & Zeller, 2017). Lo anterior pone en peligro a diferentes especies de peces con importancia comercial, las cuales se encuentran en una situación crítica, ya que se estima que el 60% de sus poblaciones están siendo explotadas hasta su capacidad máxima, el 33% se encuentran sobreexplotadas, y tan solo el 7% han sido subexplotadas (FAO, 2018; Garcia & Rosenberg, 2010; Kleisner et al., 2012; Pauly & Zeller, 2017). Sin embargo, menos del 1% de las especies explotadas cuentan con estudios que contribuyan al aprovechamiento sustentable y manejo adecuado de sus pesquerías (Costello et al., 2012).

En las zonas tropicales existe una escasez de conocimiento para la mayoría de las especies explotadas comercialmente y se observa una tendencia continua al alza en la extracción de recursos marinos (Andalecio, 2010; FAO, 2018; Mora et al., 2009; Pauly et al., 2005). Además, en estas zonas, la captura y comercialización de especies demersales y pelágicas costeras por la flota artesanal en pequeña escala representa la pesquería de mayor importancia social (Salazar-Araya, 2013). Las especies comúnmente capturadas en esta pesquería generalmente presentan poblaciones más pequeñas, mismas que son de importancia crítica para la biodiversidad. Sin embargo, en su mayoría no han sido evaluadas, a pesar de que se encuentran en un estado ecológico crítico en comparación con las especies que sustentan grandes pesquerías (Costello et al., 2012; Hilborn & Ovando, 2014).

Las evaluaciones pesqueras se basan en una extensa recopilación de datos sobre (1) las series temporales de captura y desarrollo histórico de la pesquería, así como (2) del estado de las poblaciones explotadas en función de los rasgos de la historia de vida (Costello et al., 2012). Por lo anterior, el conocimiento poblacional

de las especies con importancia pesquera funge como base para un adecuado manejo y gestión de las pesquerías (Parada et al., 2013).

Las poblaciones son grupos de individuos de la misma especie que habitan en un área geográfica particular en un tiempo determinado, que comparten el mismo pool genético y presentan los mismos rasgos en su historia de vida (Begon et al., 2006; King, 2007). La conectividad poblacional es el intercambio de individuos entre grupos; las poblaciones con conectividad limitada pueden estar estructuradas en subpoblaciones o pequeños grupos aislados de individuos de la misma especie; las poblaciones con conectividad alta típicamente resultan en una sola población (Begon et al., 2006; King, 2007).

En la mayoría de las especies costeras, la conectividad se da principalmente a través dispersión durante la fase larvaria, mediada por procesos físicos y biológicos (Cowen & Sponaugle, 2009; Dávalos-Navarro & Caballero-Vázquez, 2019; Largier, 2003); sin embargo, la conectividad también puede darse a través de la migración de los adultos a diferentes áreas, ya sea por alimentación o con fines reproductivos (Cowen & Sponaugle, 2009; Dávalos-Navarro & Caballero-Vázquez, 2019). La dispersión conlleva un cambio en el hábitat de los organismos y repercute en la conectividad poblacional, es decir, en el intercambio de individuos entre grupos (Begon et al., 2006). En poblaciones sometidas a una presión pesquera, con conectividad limitada, el conocimiento de la estructura poblacional es crítico para el desarrollo de estrategias de manejo y conservación de recursos con gran importancia pesquera.

Los peces de la familia Lutjanidae, comúnmente llamados pargos, son un recurso pesquero muy importante en los mares tropicales y subtropicales a nivel mundial (Acero & Garzón, 1985). Los pargos son capturados por pescadores tanto de la flota artesanal como la industrial y son altamente comercializados para el consumo humano debido a la calidad de su carne y a las tallas que alcanzan algunas especies que van de los 40 cm y hasta 1 m (Acero & Garzón, 1985; Fischer et al.,

1995). El pargo mancha *Lutjanus guttatus* se distribuye a lo largo del océano Pacífico, desde el norte de México hasta Perú y es una de las especies más abundantes en las zonas tropicales (Allen & Robertson, 1994; Bussing & López-Sánchez, 2011; Froese & Pauly, 2022).

En Costa Rica, el pargo mancha es una de las especies ícticas con mayor porcentaje de captura para el consumo humano. En general, se reporta una captura de poco más de 178 toneladas de *L. guttatus* anualmente, y las mayores capturas se dan en el Pacífico norte y en el Golfo de Nicoya (INCOPECA, 2022). Algunos estudios han evidenciado que *L. guttatus* presenta un crecimiento relativamente rápido, alcanzando la madurez sexual a los 3-4 años (Soto-Rojas et al., 2009). Existen dos picos reproductivos anuales importantes, uno en el mes abril y otro entre septiembre y octubre (Rojas, 1996-1997a). La especie presenta migraciones ontogénicas utilizando aguas costeras de poca profundidad (1-2 m) durante las primeras etapas de su vida y moviéndose a aguas de media profundidad (10-30 m) con fondos rocosos en sus etapas adultas (Allen & Robertson, 1994; Rojas, 1996-1997b). *Lutjanus guttatus* presenta una dieta variada, pero principalmente se alimenta de peces, crustáceos y moluscos (Rojas, 1996-1997b; Rojas et al., 2004).

Al igual que muchas especies de peces con importancia comercial, la población de *L. guttatus* está siendo altamente explotada (FAO, 2018). Actualmente, en Costa Rica, se ha observado una reducción en la captura anual de esta especie (INCOPECA, 2022); sin embargo, no existe una evaluación pesquera ya que, a pesar de que se cuenta parcialmente con datos sobre las características de la pesquería que explota este recurso (Farías-Tafolla et al., 2022, Villalobos-Rojas et al., 2014), existe un vacío en el conocimiento de la estructura de la población. A falta de estudios que permitan disputar o confirmar dicha información, la gestión de esta especie actualmente se basa bajo la suposición subyacente de que es una sola población.

Un método relativamente nuevo para evaluar la estructura de las poblaciones de peces costeros es el análisis de los otolitos. Los otolitos son estructuras de carbonato de calcio depositadas en forma de cristales de aragonita y metales traza; se localizan en el oído interno de los peces y se ubican en laberintos membranosos a cada lado del neurocráneo. Sus funciones principales son la transducción del sonido, el equilibrio y la percepción de la gravedad (Carlström, 1963; Martínez-Pérez et al., 2018; Mascareñas-Osorio et al., 2003; Tuset et al., 2008).

Los peces marinos captan los minerales presentes en el medio a través del sistema digestivo y los transportan por medio el sistema circulatorio hasta el oído interno, por lo cual estos pasan a formar parte de los otolitos, depositándose de forma cíclica y continua desde la etapa larvaria hasta la vida adulta del organismo (Lombarte & Lleonart, 1993; Morales-Nin, 2000; Mascareñas-Osorio et al., 2003), mismos que permiten determinar la longevidad y crecimiento de los organismos. Así mismo, el análisis de los otolitos permite inferir las condiciones ambientales en las que se desarrollan los peces en cada estadio de su ciclo de vida a través de la combinación de los datos cronológicos (edad) y microquímicos (análisis de isótopos estables) (Herzka, 2005; Kalish, 1991; Rowell et al., 2008; Shephard et al., 2007).

Esta información se puede obtener debido a que el agregado de carbonato de calcio y metales traza que conforman a los otolitos se deposita de manera cíclica, por lo que es posible obtener una cronología. Por otro lado, el agregado de carbonato de calcio está regulado por el metabolismo y se ve afectado por factores exógenos (p. ej. fluctuaciones en la temperatura, salinidad, disponibilidad de alimento y el crecimiento), repercutiendo en la composición microquímica de los otolitos, especialmente en la composición de los isótopos estables (Campana, 1999; Elsdon & Gillanders, 2002; Lombarte & Lleonart, 1993; Morales-Nin, 2000).

Existe evidencia de que los isótopos estables funcionan como etiquetas naturales exitosas para estudios de estructura de poblaciones de peces (Carvalho et al., 2017; Daros et al., 2016; Moreira et al., 2018). El alto potencial resolutivo de

esta técnica ha sido destacado en diversas investigaciones (Thresher, 1999; Volpedo et al., 2006), por lo cual representa una herramienta muy útil y confiable para la obtención de esta información.

Considerando que el pargo mancha es un recurso económico y socialmente importante en Costa Rica y que no existe información que respalde que los organismos que habitan las costas del país comprendan una población o varias subpoblaciones, el presente estudio tiene como objetivo determinar la estructura poblacional de *Lutjanus guttatus* en el Pacífico de Costa Rica a través del análisis de la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en otolitos; así mismo, obtener información valiosa sobre la demografía de la especie y las zonas potenciales de crianza y hábitat de los adultos. Se espera que la información contenida en este estudio sirva como línea base para el desarrollo de estrategias de manejo efectivas del pargo mancha como recurso pesquero importante en Costa Rica.

OBJETIVOS

General

Determinar la estructura poblacional y zonas potenciales de crianza del pargo mancha *Lutjanus guttatus* en la costa del Pacífico de Costa Rica, a través de la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en otolitos.

Específicos

1. Analizar las diferencias y/o similitudes en la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) del núcleo de los otolitos del pargo mancha *Lutjanus guttatus* presentes en el Pacífico de Costa Rica para conocer las zonas de crianza de esta especie.
2. Analizar las diferencias y/o similitudes en la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) el margen de los otolitos del pargo mancha *Lutjanus guttatus* del Pacífico de Costa Rica para conocer el hábitat de los organismos adultos.
3. Determinar si existe una estructura poblacional y diferentes áreas potenciales de crianza del pargo mancha *Lutjanus guttatus* del Pacífico de Costa Rica, a partir de la composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) del núcleo y margen de los otolitos.

CAPITULO 1. Variaciones demográficas del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) a lo largo del Pacífico de Costa Rica sugieren la existencia de unidades poblacionales separadas.

En formato de artículo científico para publicación en la Revista de Biología Tropical

Variaciones demográficas del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) a lo largo del Pacífico de Costa Rica sugieren la existencia de unidades poblacionales separadas.

Resumen.

Introducción: el pargo mancha *Lutjanus guttatus* es una de las especies de peces con gran importancia comercial en las zonas tropicales y subtropicales. En Costa Rica representa una de las principales especies objetivo de la pesquería artesanal. La gestión de esta especie se realiza considerando una sola población; sin embargo, no hay evidencia científica que permita convalidar este supuesto, aunque la validez de esta suposición es fundamental para las decisiones de gestión. **Objetivo:** determinar la estructura poblacional de *L. guttatus* capturados en la costa del Pacífico de Costa Rica a través de parámetros demográficos. **Métodos:** se analizaron 428 especímenes (190 machos y 238 hembras) para determinar la estructura de tallas, la relación longitud total - peso, estadios de madurez, talla media de madurez sexual, edad y crecimiento, diferenciando entre tres localidades Pacífico norte, central y sur de Costa Rica. **Resultados:** se observaron variaciones demográficas entre los organismos capturados entre el Pacífico norte, Pacífico central y Pacífico sur de Costa Rica; dichas variaciones se presentan en la estructura por tallas, relación longitud total - peso, la talla media de madurez sexual y las tasas de crecimiento. **Conclusión:** las variaciones demográficas de *L. guttatus* en las diferentes zonas de captura sugieren la probable existencia de unidades poblacionales separadas.

Palabras clave

Lutjanidae, parámetros demográficos, stock pesquero, Pacífico Tropical Oriental.

Abstract

Introduction: the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* is one of the most important fish species in tropical and subtropical areas. In Costa Rica, it represents a target species of the artisanal fishery. The management of this species is based on the assumption of one single population; however, there is no scientific evidence available to support this assumption, although its validity is essential for management decisions. The validity of this assumption is essential for management decisions. **Objective:** to determine the population structure of *L. guttatus* captured on the Pacific coast of Costa Rica through demographic parameters. **Methods:** a total of 428 specimens (190 males and 238 females) were analyzed to determine the size structure, the total length - weight relationship, maturity stages, mean size at sexual maturity, age and growth, differentiating between three locations in the North, Central and South Pacific of Costa Rica. **Results:** demographic aspects varied among organisms analyzed from the northern, central Pacific, and southern Pacific of Costa Rica. These variations are observed in the size structure, total length-weight relationship, average size of sexual maturity, and growth rates. **Conclusion:** the demographic variations of *L. guttatus* in the different zones suggest the existence of separate population units.

Keywords

Lutjanidae, demographic parameters, fish stock, Eastern Tropical Pacific.

INTRODUCCIÓN

La pesca comercial es una de las principales actividades responsable de la reducción en la abundancia y biomasa de una gran cantidad de especies marinas a nivel mundial (Mora et al., 2009; Ward & Myers, 2005). Como resultado, la producción pesquera ha disminuido de 87.7 millones de toneladas en 1996 a 79.3 millones de toneladas en el 2016 (FAO, 2018). La alta presión pesquera limita la conectividad poblacional; así mismo, la extracción selectiva de individuos por pesca, principalmente de especies depredadoras que ocupan posiciones tróficas altas, contribuye en la alteración de la estructura de las poblaciones, dando como resultado un efecto en cascada sobre la estructura de la comunidad (Campbell & Pardede, 2006; Lokrantz et al., 2010; Ruttenberg, 2001).

En la costa del Pacífico de Costa Rica, la pesquería de especies demersales y pelágicas costeras por parte de la flota artesanal representa la pesquería de mayor importancia social (FAO, 2004; Salazar Araya, 2013). Esta pesquería se caracteriza por ser multiespecífica; sin embargo, solo algunas especies tienen un valor económico alto en el mercado y la gran mayoría de especies que se capturan, se encuentran en niveles máximos de explotación o sobre explotados (FAO, 2018; Vargas, 1998-1999).

Los peces de la familia Lutjanidae, comúnmente llamados pargos, son un recurso pesquero muy importante en los mares tropicales y subtropicales a nivel mundial (Acero & Garzón, 1985). Los pargos son capturados por pescadores tanto de la flota artesanal como la industrial y son altamente comercializados para el consumo humano debido a la calidad de su carne y a las tallas que alcanzan algunas especies que van de los 40 cm hasta 1 m de longitud total (Acero & Garzón, 1985; Fischer et al., 1995). El pargo mancha *Lutjanus guttatus* se distribuye a lo largo del océano Pacífico, desde el norte de México hasta Perú y es una de las especies más abundantes en las zonas tropicales (Allen & Robertson, 1994; Bussing & López-Sánchez, 2011; Froese & Pauly, 2022).

Actualmente, el pargo mancha se encuentra entre las principales especies que sostienen la pesquería artesanal en Costa Rica. De acuerdo con el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA), la flota artesanal reporta una captura anual promedio de 178.5 toneladas (INCOPECA, 2022). Al igual que muchas especies de peces con importancia comercial, la población del pargo mancha está siendo altamente explotada (FAO, 2011). Del 2006 al 2016 se ha observado una reducción en la captura anual del 15% (INCOPECA, 2022), lo cual es un indicativo de una sobre explotación de esta especie como recurso pesquero (Soto-Rojas et al., 2018).

Considerando la importancia económica del pargo mancha para Costa Rica, y la necesidad de generar información sobre la biología general de la especie que permita establecer planes de manejo adecuados, se han realizado algunos estudios sobre sus hábitos alimentarios (Rojas, 1996-1997a), el tipo de crecimiento (Soto-Rojas, 2009), algunos parámetros poblacionales y reproductivos (Rojas, 1996-1997b; Soto-Rojas et al., 2018; Vargas, 1998-1999).

En la mayoría de estos estudios se sugiere que es una sola población la que está bajo explotación; así mismo, la gestión de esta especie actualmente se basa en la suposición subyacente de que es un solo stock pesquero. Un stock pesquero se define como la parte de una población de peces que se considera un recurso real o potencial (Ricker, 1975). Hasta la fecha, en Costa Rica no hay evidencia científica que permita convalidar este supuesto. Sin embargo, en otras especies de pargos se ha demostrado que es posible que se desarrollen stocks separados debido a su alta capacidad de recorrer largas distancias aunado a la fragmentación causada por alta presión pesquera (Fischer et al., 2004; Patterson et al., 2001).

El conocimiento de las características poblacionales de una especie con importancia económica son factores fundamentales para el manejo y gestión adecuado de las pesquerías (Cadima, 2003; Sparre & Venema, 1995). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es estimar la estructura de tallas, la relación

longitud total - peso, estadios de madurez, talla media de madurez sexual, edad y crecimiento del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturado a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica, con lo cual es posible estimar la estructura de dicha población. Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento de la especie y representan insumos importantes para desarrollar planes de manejo adecuados para la regulación de la pesquería de *L. guttatus* en Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los organismos de pargo mancha *L. guttatus* fueron muestreados de enero del 2018 a diciembre del 2019 en los desembarques de la flota artesanal de 10 comunidades pesqueras ubicadas a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica (Fig. 1).

Área de estudio

Las comunidades pesqueras consideradas en el presente estudio se encuentran agrupadas según la región socioeconómica en Pacífico norte (PN), Pacífico central (PC) y Pacífico sur (PS; Fig. 1). Estas tienen características muy diferentes entre sí.

El PN es una zona que presenta características geológicas particulares, ya que está formada por el sistema rocoso más antiguo del país, mismo que deriva en un lecho marino con alta complejidad estructural favoreciendo la formación de arrecifes rocosos y comunidades coralinas (Denyer & Kussmaul, 2012; Quirós-Arias, 2017). Durante la estación seca (diciembre-abril), esta zona está influenciada por factores oceanográficos particulares, tales como el fenómeno de afloramiento o surgencia costera que se produce, momento en que los vientos alisios del norte empujan las masas de agua superficiales, contribuyendo a que las aguas profundas más frías emerjan hacia la superficie, alcanzando los 15 °C en profundidades entre 20 y 50 m (Jiménez, 2016). Además, el fenómeno de surgencia transporta una gran

cantidad de nutrientes, lo cual incrementa la productividad primaria y permite una gran diversidad de organismos (Alfaro & Lizano, 2001; Fiedler, 2002; Brenes et al., 2008; Quirós-Arias 2017).

El PC es una zona estuarina influenciada por el río Tempisque, Barranca y el río Tárcoles que desembocan en el Golfo de Nicoya. El aporte de agua dulce de estos ríos converge con las aguas de origen marino arrastradas por las corrientes (Brenes et al., 2001). Durante la estación seca (diciembre-abril) existe mayor influencia de agua marina, mientras que durante la estación lluviosa (mayo-noviembre) ingresa una gran cantidad de agua dulce, misma que ejercen un impacto significativo en las características de sus aguas (Wolff et al., 1998). Lo anterior permite que esta zona presente una gran riqueza biológica y favorece el desove de especies marinas de alto valor comercial (Fernández-Carvajal, 2013).

Finalmente, el PS se caracteriza por presentar dos ecosistemas altamente productivos y que funcionan como áreas de crianza de una gran cantidad de especies marinas comerciales. Por un lado, se encuentran los arrecifes coralinos, ubicados hacia la comunidad de Uvita donde se encuentra el Parque Nacional Marino Ballena (Quesada-Alpízar & Cortés, 2006). Por otro lado, hacia Boca Coronado se encuentra la desembocadura del río Grande de Térraba el cual forma parte del manglar Térraba-Sierpe que es el más grande de Costa Rica, mismo que aporta una gran cantidad de agua dulce y sedimentos (Cordero & Solano, 2000).

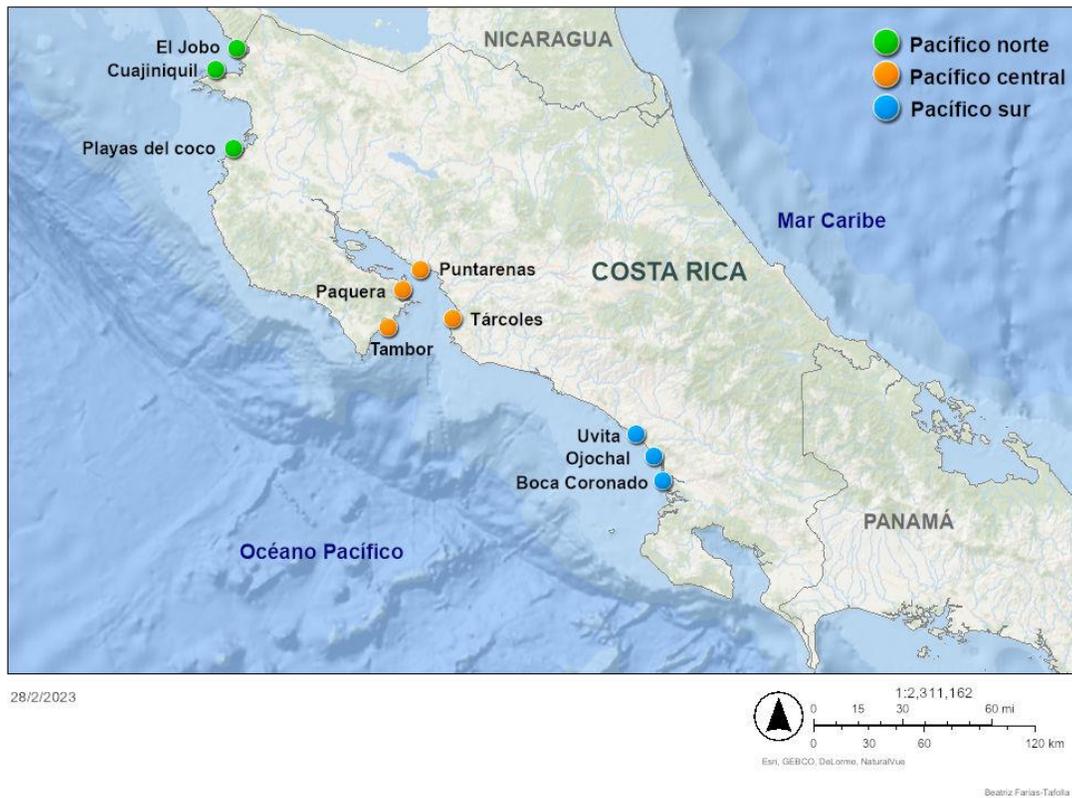


Figura 1. Comunidades pesqueras de la costa del Pacífico de Costa Rica en donde se analizaron los desembarques para la obtención de especímenes del pargo mancha *Lutjanus guttatus* de enero del 2018 a diciembre del 2019.

Análisis de datos

De cada uno de los individuos se registró el peso total (PT, en gramos) y la longitud total (LT, en cm) medida desde el borde anterior de la boca hasta el extremo final de la aleta caudal. Las relaciones biométricas se estimaron mediante la ecuación potencial de las relaciones corporales (Sparre & Venema, 1995):

$$PT = a * Lt^b$$

en donde PT es el peso total, LT es la longitud total (cm), a es la intersección del eje de las ordenadas y b es la pendiente de la curva. El tipo de crecimiento de *L. guttatus* de obtuvo a partir del valor de la constante de crecimiento alométrico; si $b=3$ es isométrico, si $b<3$ es alométrico negativo, en cambio, si $b>3$ es alométrico positivo (Mayrat, 1970). El valor b fue probado utilizando una prueba de t de Student ($H_0: b = 3, \alpha = 5\%$) (Sokal & Rohlf, 1987).

El periodo de reproducción se determinó a partir del análisis macroscópico de las gónadas. El estado de madurez se identificó clasificando el desarrollo gonadal en cinco estadios (FAO, 1975; Tabla 1). El periodo de desove de *L. guttatus* se determinó considerando ambos sexos, obteniendo el valor porcentual de cada estadio de madurez sexual por mes. Los valores porcentuales de organismos maduros (estadios III, IV y V) mayores de 70% se consideraron como puntos máximos de reproducción.

Tabla 1. Clasificación de los cinco estadios de madurez sexual utilizado para el análisis macroscópico de gónadas de *Lutjanus guttatus* (FAO, 1975).

Fase	Estado	Aspecto general
I	Inmaduro	Los ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos y ovocitos invisibles a simple vista. Testículos blancuzcos.
II	Virgen madurando y en recuperación	Los ovarios y testículos ocupan cerca de 1/2 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos, translúcidos y ovocitos invisibles a simple vista. Testículos blancuzcos, más o menos simétricos.
III	Maduro	Los ovarios y testículos cubren cerca de 2/3 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios con coloración de rosado a amarillento con aspecto granular y ovocitos visibles. Testículos blancuzcos a crema.

IV	Hidratado	Los ovarios y testículos ocupan de 2/3 a toda la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color anaranjado opaco a rosado, con vasos sanguíneos superficiales visibles. Al presionar, fluyen ovocitos hidratados y transparentes. Testículos blancuzcos a crema, blandos.
V	En regeneración	Ovarios y testículos contraídos cerca de ½ de la longitud de la cavidad abdominal. Las paredes son delgadas y flácidas. Los ovarios pueden aún contener residuos de ovocitos opacos, maduros, en desintegración, oscurecidos o translúcidos. Testículos sanguinolentos y flácidos.

La talla media de madurez sexual (TMMS) de *L. guttatus* se determinó considerando ambos sexos en conjunto, empleando un análisis de regresión logística ajustada a una distribución binomial, en donde 0 = inmaduro (estadios 1 y 2) y 1 = maduro (estadios III, IV y V). El modelo se obtuvo a partir de la ecuación propuesta por Garcia et al. (1998):

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(LT-L50)/\alpha}}$$

en donde P es la probabilidad de madurez, LT es la longitud total (cm), L_{50} es la longitud a la que el 50% de los individuos ha alcanzado la madurez sexual y α es la pendiente de la curva. La TMMS es la talla correspondiente a la intersección de la curva con probabilidad de madurez del 50% (Garcia et al., 1998).

La edad se determinó en 30 peces recolectados en el PN, PC y PS. A cada organismo se le extrajeron los otolitos *sagitta* siguiendo la técnica de Martínez-Pérez et al. (2012); posteriormente, fueron limpiados, etiquetados y almacenados en seco hasta su procesamiento. Una vez en el laboratorio, ambos otolitos fueron embebidos en resina epóxica y seccionados transversalmente, con una cortadora de baja velocidad con navaja punta diamante (Buehler, ISOMETTM). Los cortes de 1 mm

de grosor que contenían el núcleo y los anillos de crecimiento fueron pulidos con papel abrasivo de grano decreciente y alúmina de 0.05 micras, posteriormente se montaron sobre un portaobjetos utilizando Cytoseal 60 de baja viscosidad (Jolivet et al., 2013). Los cortes fueron analizados y fotografiados utilizando microscopía de luz transmitida. Para la determinación de la edad, se utilizó el otolito izquierdo; esto únicamente con el fin de estandarizar las lecturas ya que se ha demostrado que la elección del otolito es indiferente. El conteo de anillos opacos y traslucidos a lo largo del otolito se realizó desde el núcleo hasta el borde ventral (Fig. 2).

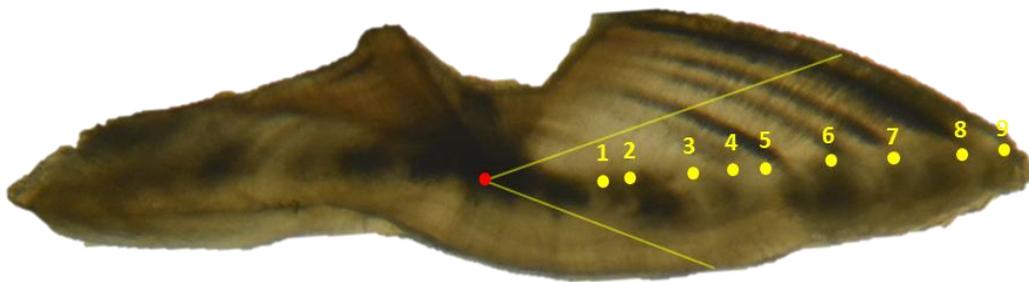


Figura 2. Corte transversal de un otolito del pargo mancha *Lutjanus guttatus*. Los puntos amarillos indican los anillos de crecimiento y los números la edad estimada.

Se calcularon los parámetros de crecimiento (L_{∞} , K y t_0) de acuerdo con la metodología propuesta por Sparre y Venema (1995), para luego ser aplicados a la curva de crecimiento de von Bertalanffy:

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t+t_0)})$$

donde L_t es la longitud estimada a un tiempo t , L_{∞} la longitud máxima que un organismo puede alcanzar, t_0 el tiempo teórico en el cual la longitud es cero, y K la

constante de crecimiento. La función de crecimiento se ajustó usando la rutina SOLVER del software Excel (Haddon, 2001).

Cada uno de los parámetros analizados fueron comparados entre regiones (PN, PC y PS) a través de pruebas de *t - student* y análisis de varianza (ANOVA). Todos los análisis en este estudio fueron efectuados en el programa estadístico R v.3.6.2 (R Core Team, 2021), con excepción de la curva de crecimiento de von Bertalanffy, la cual se realizó con el software Excel.

RESULTADOS

En total, se muestrearon 428 individuos de pargo mancha *L. guttatus* capturados por la pesquería artesanal de pequeña escala del Pacífico de Costa Rica. Las muestras incluyeron 238 hembras y 190 machos, con una variación en las tallas entre los 22.2 y 60.1 cm de longitud total (LT) y en el peso total (PT) entre los 90 y 2200 g (Tabla 2). La proporción de sexos (macho-hembra) varió de acuerdo con la zona de captura, resultando en una proporción de 1:1.35 en el PN, 1:0.96 en el PC y 1:1.51 en el PS; sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las tres zonas ($t=0.024$, $p>0.05$).

Tabla 2. Información general de los organismos del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en la costa del Pacífico de Costa Rica.

Zona	LT (cm)	PT (g)	Hembras	Machos	N
Pacífico norte	22.2 - 57.0	140 - 2200	81	60	141
Pacífico central	23.0 - 55.8	155 - 1900	68	71	139
Pacífico sur	26.5 - 60.1	90 - 2000	89	59	148

Estructura de tallas

En la estructura de tallas se observaron diferencias significativas entre los peces capturados en el PN y PC ($t=-4.733$, $p<0.05$) y entre el PN y PS ($t=-3.732$, $p<0.05$). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre sexos en ninguna de las tres zonas ($F=3.398$; $p>0.05$), por lo tanto, los datos fueron analizados en conjunto para cada zona (Fig. 3). Los organismos del PN presentaron una mayor frecuencia en tallas entre 25 y 35 cm de LT, representando el 61.7% del total de organismos. Los organismos de PC y PS presentaron una mayor frecuencia en tallas entre 30 y 40 cm de LT representando el 48.9% y 64.1%, respectivamente (Fig. 3A). Por otro lado, la estructura por peso fue similar en las tres zonas. Los organismos presentaron una mayor frecuencia en peso entre 200 y 600 g de PT, representando el 70.9% del total de organismos muestreados en el PN, el 46.8% en el PC y el 64.9% en el PS (Fig. 3B).

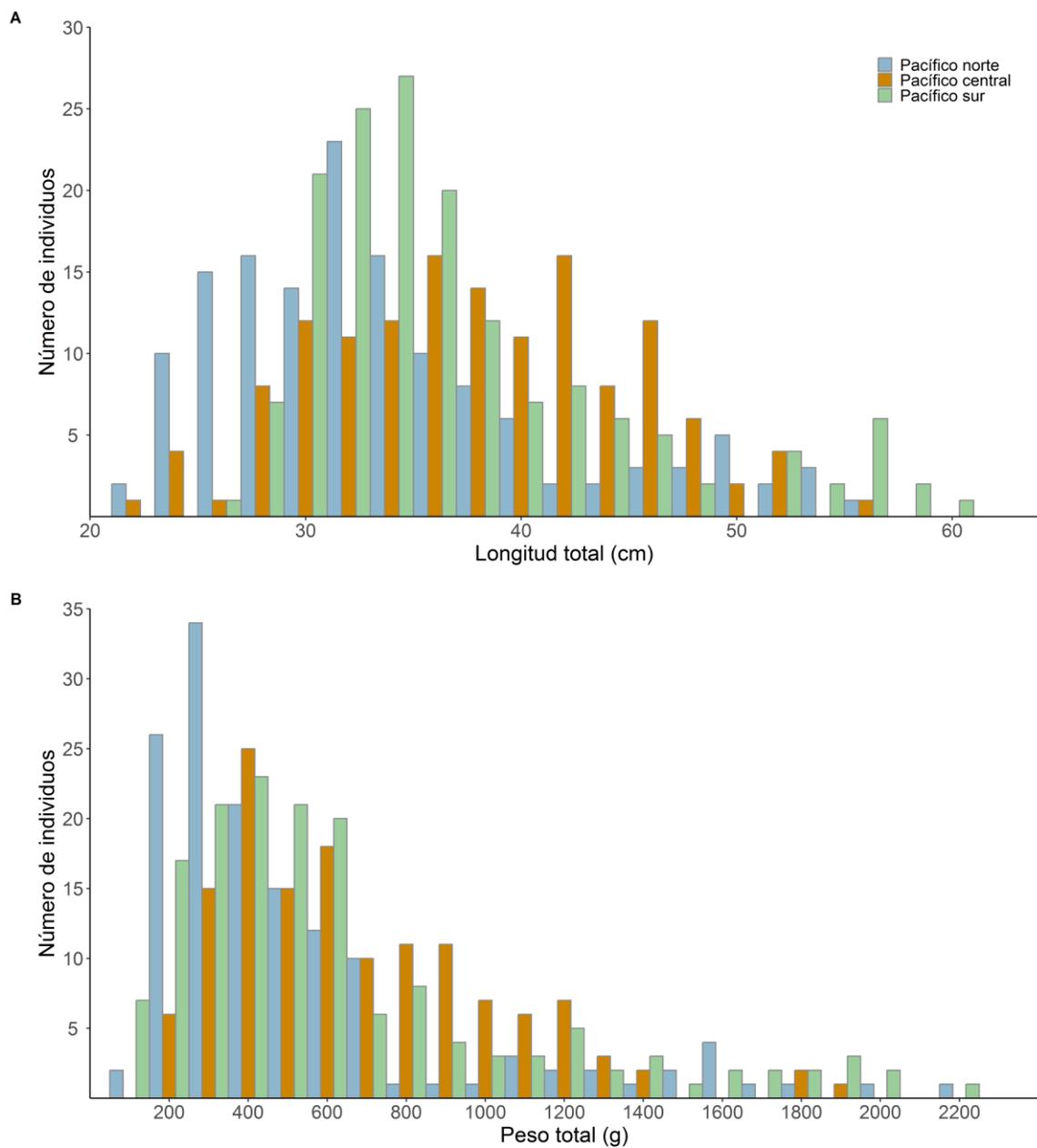


Figura 3. Estructura de tallas (A) y estructura por peso (B) de pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 (N= 428) en la costa del Pacífico de Costa Rica.

Relación Longitud total -peso

En la relación LT-PT se observaron diferencias significativas entre zonas ($F=10.662$, $p<0.05$); dichas diferencias se observaron en el PN con respecto al PC y PS. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre sexos en ninguna de las tres zonas ($F=1.285$; $p>0.05$), por lo tanto, los datos fueron analizados en conjunto para cada zona (Fig. 4). El crecimiento de los organismos de *L. guttatus* capturados en el PN y PC de Costa Rica, fue de tipo alométrico negativo; mientras que en los organismos capturados en el PS fue isométrico (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de la ecuación potencial de las relaciones corporales de *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en el Pacífico de Costa Rica.

Zona	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i> ²	<i>p</i>	Crecimiento
Pacífico norte	141	0.0299	2.7421	0.937	$p<0.05$	Alométrico negativo
Pacífico central	139	0.0283	2.7510	0.960	$p<0.05$	Alométrico negativo
Pacífico sur	148	0.0047	3.2404	0.766	$p<0.05$	Isométrico

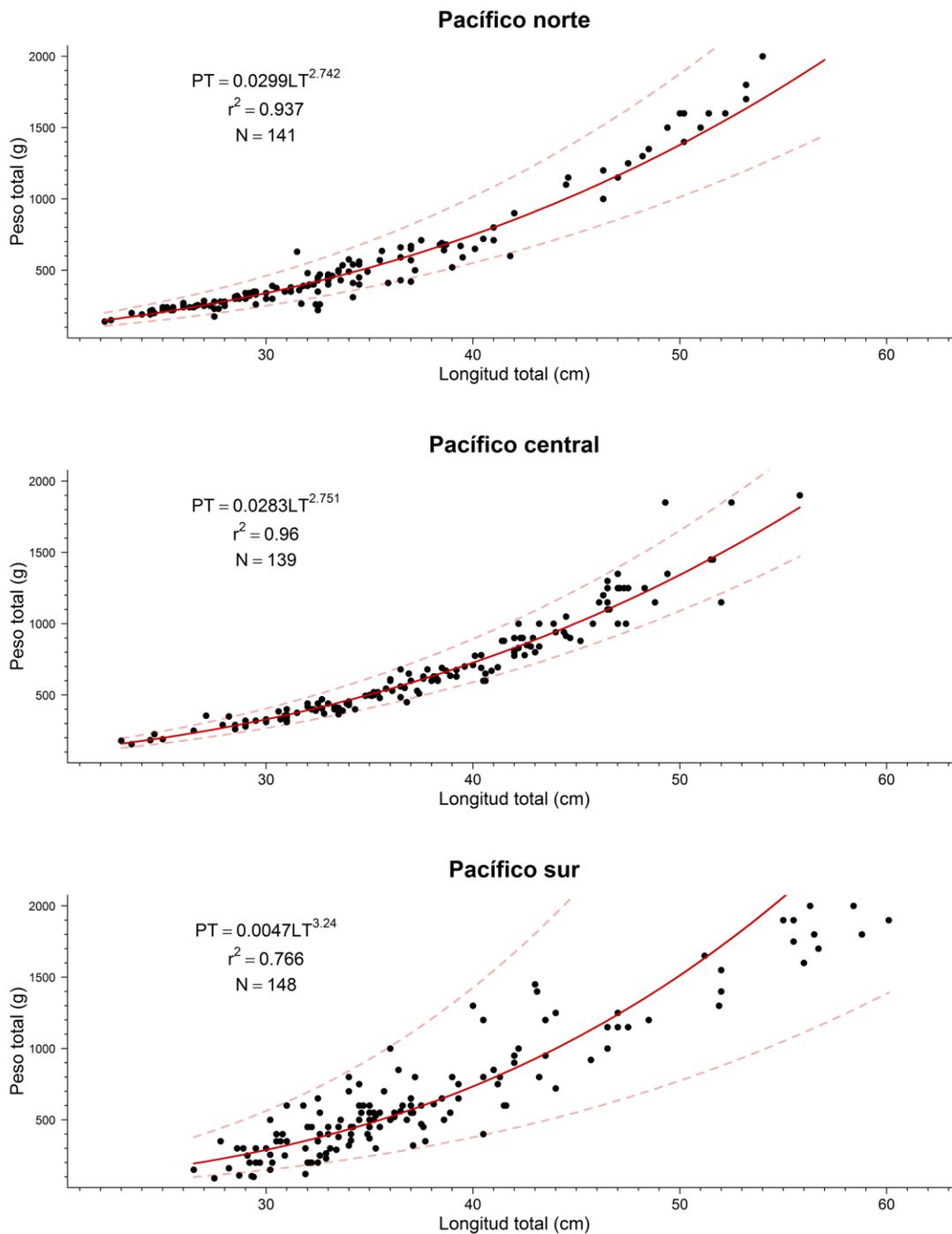


Figura 4. Relación longitud total - peso para ambos sexos del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados en el Pacífico norte, central y sur de Costa Rica, entre enero del 2018 y diciembre del 2019.

Estadios de madurez

A partir del porcentaje de frecuencia de cada uno de los estadios de madurez sexual observados mensualmente en *L. guttatus* se determinaron dos periodos máximos de reproducción: el primero de abril a mayo y el segundo de septiembre a noviembre (Fig. 5). Del total de los individuos analizados (428), 126 fueron identificados como sexualmente inmaduros con una proporción 1:1 entre sexos (63 hembras y 63 machos). En tanto que se identificaron 302 individuos sexualmente maduros con una proporción de 1:1.3 (175 hembras y 127 machos).

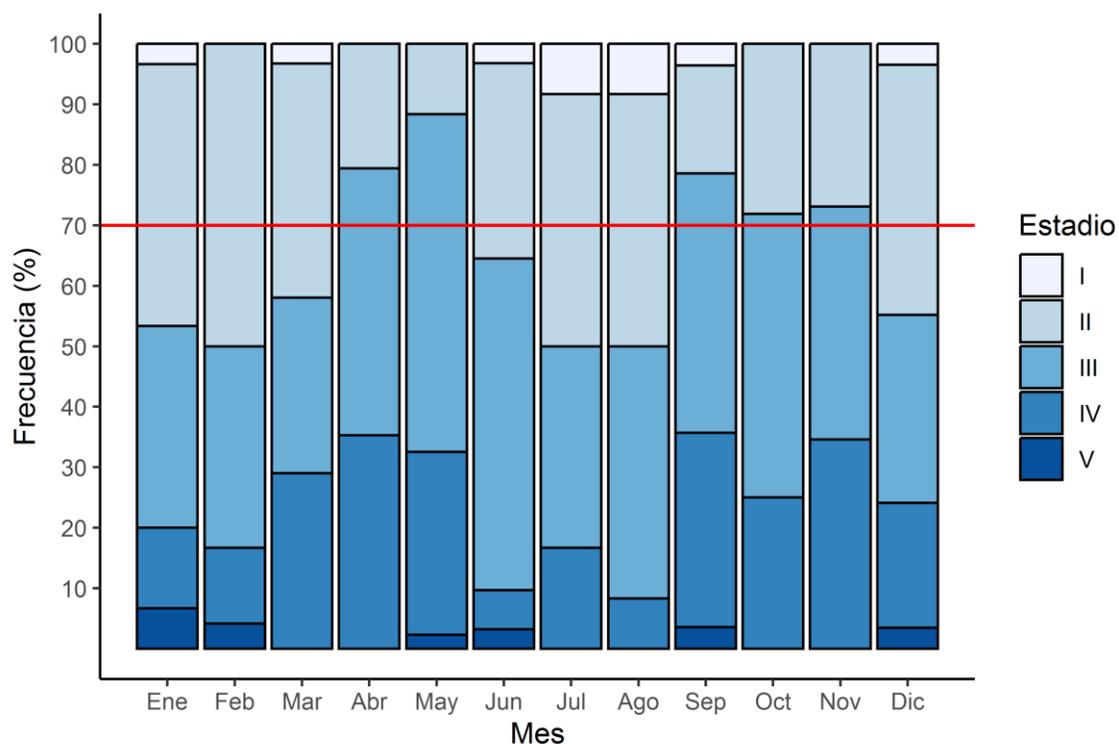


Figura 5. Porcentaje de frecuencia mensual de los cinco estadios de madurez del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=428) capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en la costa del Pacífico de Costa Rica

Talla media de madurez sexual

En la talla media de madurez sexual (TMMS) del pargo mancha *L. guttatus* no se observaron diferencias significativas entre sexos ($t=1.641$; $p>0.05$). Sin embargo, al comparar la TMMS entre zonas de captura, se encontraron diferencias significativas entre el PN y PC ($t=-6.513$, $p<0.05$) y entre el PN y PS ($t=-4.753$, $p<0.05$). Por lo anterior, los datos fueron analizados por zona de captura considerando ambos sexos. La TMMS se estimó en 32.1 cm LT para el PN, 30.5 cm LT para el PC y 28.8 cm LT para el PS, tallas en las cuales al menos el 50% de los individuos muestreados fueron clasificados como sexualmente maduros (Fig. 6). Considerando la TMMS calculada para el pargo mancha *L. guttatus* en cada una de las zonas de captura, el 12.9% de los especímenes capturados en el PC y el 4.1% del PS fueron inmaduros. Sin embargo, en el PN el 46.1% de los especímenes tenían tallas inferiores a la TMMS calculada.

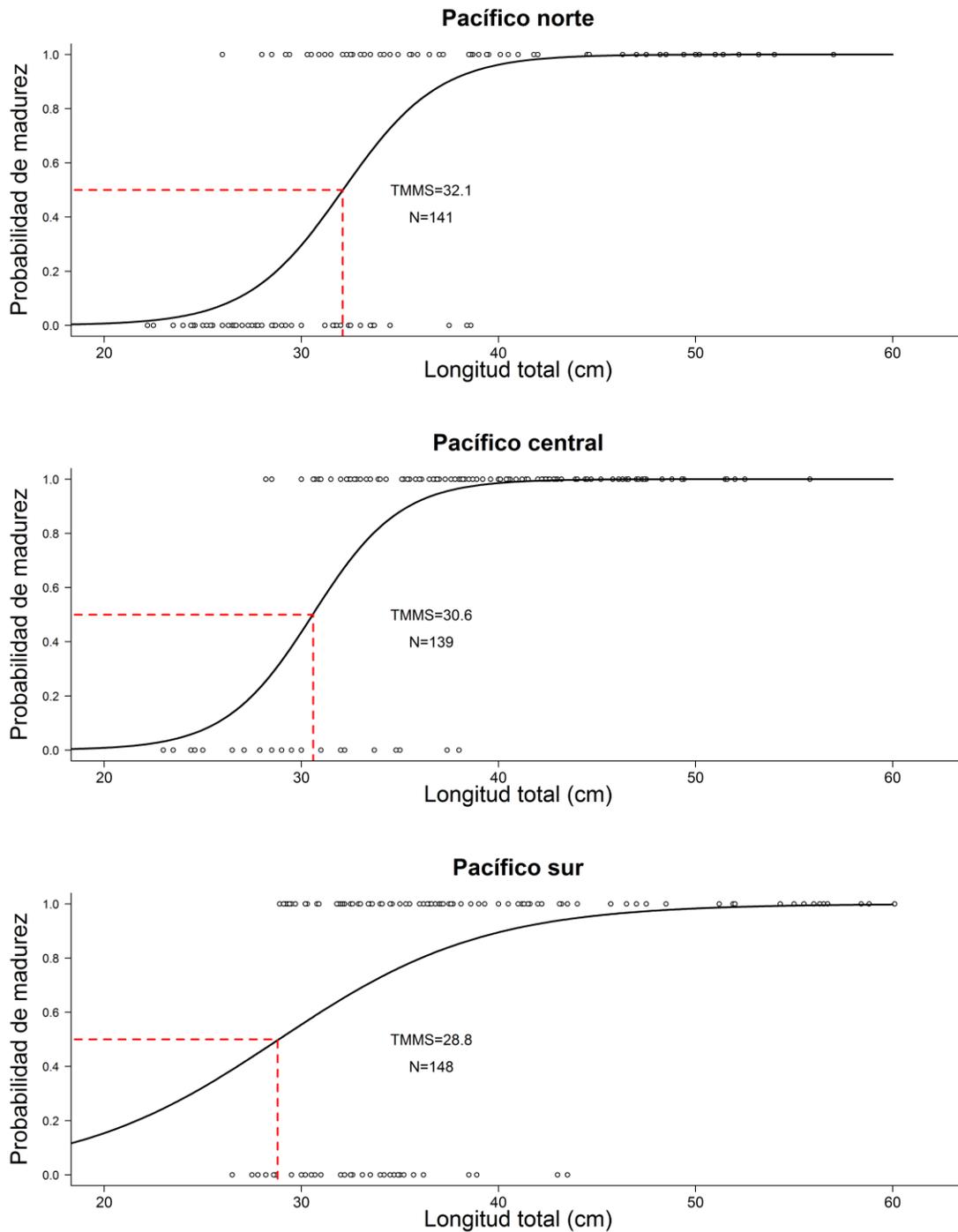


Figura 6. Talla media de madurez sexual del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en el Pacífico norte, central y sur de Costa Rica.

Edad y crecimiento

Las edades estimadas en los individuos de *L. guttatus* analizados variaron entre los 4 y 20 años. El 68.9% de los organismos tenían una edad entre los 6 y 11 años (Tabla 4). La LT de *L. guttatus* no presentó diferencias significativas con respecto a la edad entre sexos ($t=1.202$; $p>0.05$); sin embargo, al compararlos entre zonas de captura, se observaron diferencias significativas entre el PN y PC ($t=-5.258$, $p<0.05$) y entre el PN y PS ($t=-4.568$, $p<0.05$). Por lo anterior, los datos para la determinación del crecimiento fueron analizados por zona de captura considerando ambos sexos.

Los parámetros poblacionales obtenidos para el PN fueron: $L_{\infty}= 55.60$ cm, $K= 0.14$ y $t_0= 0.00$; para el PC: $L_{\infty}= 55.81$ cm, $K= 0.14$ y $t_0= 0,57$ y para el PS: $L_{\infty}= 73.09$ cm, $K= 0.08$ y $t_0= 0,00$. La Figura 7 visualiza dichos parámetros aplicados en la curva de crecimiento según von Bertalanffy.

Tabla 4. Número de individuos por grupos de edad de *Lutjanus guttatus* (N=90) capturados entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en la costa del Pacífico de Costa Rica.

Edad	LT (cm)				
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69
+4	1				
+5	2	3			
+6	3	6			
+7		11	1		
+8		9	1		
+9		6	3		
+10		7	6		
+11			9		
+12			2		
+13			2		
+14			4		
+15			5	1	
+16				1	
+17				5	
+18				1	
+19				-	-
+20					1

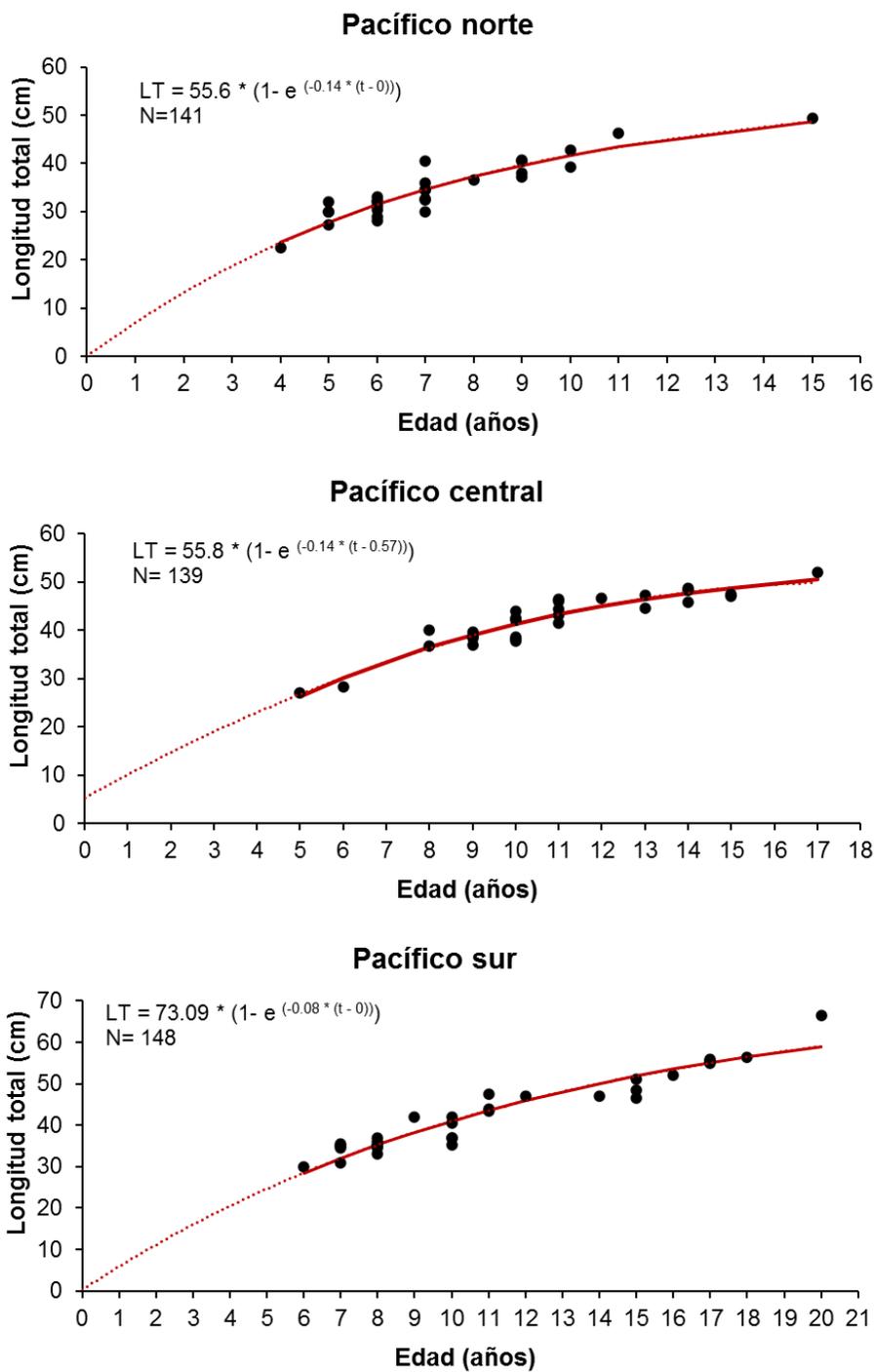


Figura 7. Curva de crecimiento según el modelo de von Bertalanffy del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturado entre enero del 2018 y diciembre del 2019 en el Pacífico norte, central y sur de Costa Rica.

DISCUSIÓN

La alta presión pesquera limita la conectividad en las poblaciones; así mismo, la continua extracción de individuos por pesca contribuye en la alteración de la estructura de las poblaciones (Campbell & Pardede, 2006; Lokrantz et al., 2010; Ruttenberg, 2001). En Costa Rica, el pargo mancha *Lutjanus guttatus*, representa una especie con alto valor comercial y es principalmente capturado por la pesquería artesanal (FAO, 2004; Salazar Araya, 2013). El manejo de esta especie actualmente se encuentra generalizado bajo el supuesto de que es una misma población la que está bajo explotación. Sin embargo, en el presente estudio se encontraron variaciones demográficas entre los organismos capturados en el PN, PC y PS del país, sugiriendo la necesidad de desarrollar unidades de manejo diferenciadas.

El intervalo de longitud total del pargo mancha *L. guttatus* reportado en este estudio (22.2 a 60.1 cm LT) es similar al reportado en el Pacífico tropical de Colombia (Correa-Herrera & Jiménez-Segura, 2013) y de Costa Rica (Rojas, 1996-1997b; Soto-Rojas et al., 2018; Soto-Rojas et al., 2009; Vargas, 1998-1999). En todos los casos la mayor cantidad de individuos capturados se encontraron entre los 30 y 40 cm de LT. No obstante, en el presente estudio, se observaron variaciones en la estructura por tallas en las diferentes zonas de captura, en el PN de Costa Rica la estructura presentó un rango de tallas muy amplio (22.2-57.0 cm), mientras que en el PC la estructura por tallas fue más reducida (23.0-55.8 cm), y en el PS el rango fue de 26.5 a 60.1 cm, siendo esta zona en la que hay una captura dominada por organismos de tallas mayores.

Las diferencias en la estructura por tallas se pueden deber a la variedad de artes de pesca utilizadas por la pesquería artesanal, como son el trasmallo con diferente apertura de malla, la cuerda de mano y líneas de fondo con varios tamaños de anzuelo, buceo apnea y con compresor; además de la combinación de dos o más artes de pesca en una misma faena (Farías-Tafolla et al., 2022; Fonseca & Solís, 2005; Mongeon et al., 2013; Villalobos-Rojas et al., 2014; Zanella & López-

Garro, 2015). Si bien, lo anterior influye en el intervalo de tallas de los organismos capturados por esta pesquería, estudios similares han demostrado que la estructura por tallas está influenciada por los procesos propios de la dinámica de poblaciones, específicamente del reclutamiento de organismos juveniles desde las áreas de crianza hacia las zonas donde se encuentran los adultos, y que son aprovechados por los pescadores (Ramos-Cruz, 2001; Vega et al., 2008). Lo anterior sugiere que las tasas de reclutamiento podrían ser diferentes en las zonas muestreadas, siendo mayor en el PN y PC con respecto al PS, sin embargo, es necesario realizar estudios enfocados en este aspecto que confirmen dicho supuesto.

Por otro lado, considerando los datos obtenidos en la relación longitud - peso, el tipo de crecimiento estimado para *Lutjanus guttatus* en el PN y PC (alométrico negativo) coincide con otros datos obtenidos para la misma especie en el Golfo de Nicoya (PC) en Costa Rica (Soto-Rojas et al., 2009; Soto-Rojas et al., 2018; Vargas, 1998-1999). Este tipo de alometría indica que *L. guttatus* tiene un crecimiento volumétrico sin una fuerte tendencia cúbica, es decir, no proporcional (Froese & Pauly, 2022). Sin embargo, el tipo de crecimiento observado en los organismos de *L. guttatus* capturados en el PS (isométrico) difiere del resto, lo cual indica una variación tanto en aspectos morfológicos como en la historia de vida de estos (King, 2007; Stergiou & Moutopoulos, 2001).

En pesquerías, las variaciones en la relación longitud-peso y el coeficiente de crecimiento se deben posiblemente a las diferencias entre la talla de los individuos capturados por la selectividad del arte de pesca, el índice de repleción estomacal ocasionado por la disponibilidad de alimento, el cambio del estado gonadal del pez, la estación del año, las horas del día en que fueron capturados o a los distintos sitios de pesca (Fortaleza & Nañola Jr., 2017; Mazumder et al., 2016; Olaya-Nieto et al., 2008). En este sentido, posiblemente el PS presenta condiciones favorables para el crecimiento en iguales proporciones tanto de talla como en peso (isométrico), ya que cuenta con dos ecosistemas altamente productivos como son los arrecifes coralinos y la zona de manglar que permiten a los organismos un mejor

desarrollo. A diferencia del PN y PC que aun cuando presentan características favorables como la época de surgencia en el PN (Alfaro & Lizano, 2001; Quirós-Arias 2017) o el ambiente estuarino del PC (Wolff et al., 1998), estas características tienden a ser estacionales y limitan el crecimiento de los organismos.

El pargo mancha de la costa del Pacífico de Costa Rica analizado en el presente estudio presenta desoves durante todo el año con dos puntos máximos de reproducción: abril-mayo y septiembre-noviembre. Este resultado coincide con lo reportado para la misma especie en Costa Rica por Rojas (1996-1997b) y parcialmente con lo indicado por Arellano-Martínez et al. (2001) en México, Correa-Herrera & Jiménez-Segura (2013) en Colombia y Soto-Rojas et al. (2018) en Costa Rica. En todos los casos, los puntos máximos reproductivos coinciden con el inicio de la época de lluvias (abril-mayo) y seca (noviembre-diciembre). Lo anterior podría deberse a la asincronía en el proceso vitelogénico de la especie (Claro, 1994; Grimes, 1987; Rojas, 1996-1997b). Así mismo, existe una correlación entre la duración de la temporada de reproducción y la latitud (Arellano-Martínez et al., 2001; Cushing, 1975) ya que, a medida que se avanza hacia el Ecuador, es decir en las zonas subtropical y tropical, como en el caso de Costa Rica, el período de reproducción de los peces es más prolongado y presenta desoves parciales durante todo el año, comparado con latitudes altas donde las especies tienen un período de desove corto y definido con duraciones de hasta dos meses en una época específica del año (Arellano-Martínez et al., 2001; Cushing, 1975). Por otro lado, los puntos máximos de reproducción de las especies de Lutjanidae se correlacionan positivamente con la temperatura y el fotoperíodo, así como con cambios en la abundancia y calidad del alimento, mismos que son favorables durante la transición de una estación a otra (Grimes, 1987; Saborido-Rey, 2008).

La TMMS determinada en el presente estudio varió entre 32.1 cm de LT en el PN, 30.5 cm de LT en el PC y 28.8 cm de LT en el PS, observándose diferencias significativas entre zonas. Los factores que hacen que la TMMS disminuya con el tiempo en algunos sitios, pueden ser diversos cambios en el medio ambiente que

repercutan en mayor disponibilidad de alimento, aunado a la reducción de biomasa de la población por causas ambientales o, más comunmente, por una alta presión pesquera (Smith, 1996).

De acuerdo con INCOPECA, la TMMS con la que se gestiona la pesquería de *L. guttatus* es de 32 cm LT (INCOPECA, 2018), valor que incluye las diferencias por zona encontradas en este estudio, asegurando que a esa talla, al menos la mitad de los especímenes se encuentren sexualmente maduros sin importar la zona de captura, e incluso favoreciendo a los organismos del PC y PS. Sin embargo, la talla legal de primera captura que rige para todo el país es de 30 cm LT con un porcentaje de tolerancia permitido de captura menor a esta talla de un 10% (INCOPECA, 2018). Lo anterior es óptimo para organismos del PC y PS de acuerdo con los valores de TMMS obtenidos en el presente estudio, por el contrario, los especímenes del PN se ven afectados debido a que la TMMS calculada para esta zona es mayor a la talla legal de captura, repercutiendo en una alta extracción de organismos inmaduros.

Lo anterior se ve reflejado en los organismos analizados en el PN, ya que el 46.1% se encuentran por debajo de la TMMS, este porcentaje es considerablemente más alto que en las otras dos zonas de estudio. Este resultado implica que casi la mitad de los individuos en la zona del Pacífico norte son capturados sin haber alcanzado la talla media de madurez sexual. Esta situación repercute en la productividad y estabilidad de una población determinada, ya que al retirar organismos inmaduros de la población se disminuye la cantidad de adultos reproductivos que producirán nuevas generaciones para el mantenimiento de la especie (Sinclair & Valdimarsson, 2014). Además, se reduce la capacidad de resiliencia de una población, ante disturbios ambientales y/o antropogénicos (Sinclair & Valdimarsson, 2014).

Los datos obtenidos de la lectura de los anillos de crecimiento en los otolitos *sagitta* sugieren un crecimiento proporcional en el peso a lo largo de los años,

excepto por las divergencias presentadas por organismos específicos, mismas que pueden estar relacionadas a variaciones ambientales o de estrés donde el crecimiento somático se vea inhibido o alterado (Araya & Cubillos 2002; Soto-Rojas et al., 2008). Es importante acotar que no se obtuvieron ejemplares pertenecientes a los grupos de edad <4, por no encontrarse en las muestras provenientes de las capturas comerciales de la flota artesanal. Aun con esta situación, es posible observar en las curvas de crecimiento el patrón típico de muchas especies de Lutjanidae, en donde hay un crecimiento lento hasta alcanzar progresivamente su longitud asintótica, así como las altas longevidades que llegan a presentar (Gallardo-Cabello et al., 2010; Soto-Rojas et al., 2009).

También se observaron diferencias significativas en las curvas de crecimiento según el modelo de von Bertalanffy de acuerdo con las zonas de captura, difiriendo el PN con respecto al PC y PS. La temperatura y la abundancia de alimento son factores ambientales importantes que influyen sobre el crecimiento de los peces (curva de crecimiento), por lo que los parámetros pueden variar por las características del área donde se desarrolla la población (Fischer et al., 2004; Morales & González, 2010). El PN es influenciado por agua de surgencia por lo que se registran cambios de hasta 10°C en un día (Ballesteros 2006) y el transporte de una gran cantidad de nutrientes (Alfaro & Lizano, 2001).

El valor de la longitud asintótica obtenida en el PS es mucho mayor ($L_{\infty} = 73.09$ cm) comparado con el valor estimado para los individuos de las otras zonas estudiadas; sin embargo, la constante de crecimiento ($K = 0.08$) indica que en la zona sur el crecimiento es moderadamente más lento. Por otro lado, en el PN la longitud asintótica se alcanza mucho más rápido ($L_{\infty} = 55.6$ cm) y la constante de crecimiento es mayor ($K = 0.14$). Dicho patrón se ha relacionado con la presión ejercida por los depredadores y las pesquerías relacionadas (Morales & González, 2010). A su vez, Gulland (1971), señaló que el coeficiente de crecimiento (K), de la ecuación de von Bertalanffy tiene cierto grado de proporcionalidad con la mortalidad de la población, es decir, un pez que alcanza la longitud asintótica rápido (L_{∞} bajo),

es probable que tenga una mortalidad elevada. Tal es el caso de los especímenes del PN.

En conclusión, se observan variaciones demográficas en la estructura por tallas, relación LT-PT, la TMMS y las tasas de crecimiento entre los organismos de *Lutjanus guttatus* capturados en el PN, PC y PS de Costa Rica. Esta situación está probablemente relacionada con las características ambientales en las que se desarrollan los organismos, así como la presión pesquera a la que son sometidos. Los resultados obtenidos sugieren la probable existencia de subpoblaciones de *L. guttatus* a lo largo de la costa del Pacífico que requieren estrategias de manejo diferenciado.

Detectar heterogeneidad espacial entre aspectos demográficos de poblaciones implica restricción en la conectividad del hábitat y en los movimientos de los peces (Ruzzante et al., 2006). Lo anterior, aunado con la fidelidad al sitio de desove que presentan algunos Lutjánidos, podría maximizar dicha heterogeneidad a lo largo del tiempo de vida individual y generacional teniendo como resultado poblaciones estructuradas en subpoblaciones (Ruzzante et al., 2006). Por lo tanto, esta situación debe ser considerada para una mejor gestión de las pesquerías que explotan esta especie.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por el Sistema de Estudios de Posgrado (SEP) y el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica (UCR). Así como, por el Laboratorio de Ecología Pesquera del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Los autores agradecen a los pescadores artesanales del Pacífico de Costa Rica por su apoyo y colaboración.

LITERATURA CITADA

- Acero P., A., & Garzón F., J. (1985). Los pargos (Pisces: Perciformes: Lutjanidae) del Caribe colombiano. *Actualidades Biológicas*, 14 (53), 89-99.
- Alfaro, E. J., & Lizano, O. G. (2001). Algunas relaciones entre las zonas de surgencia del Pacífico Centroamericano y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Revista de Biología Tropical*, 49 (2), 185-193.
- Allen, G. R., & Robertson, D. R. (1994). *Fishes of the tropical eastern Pacific*. University of Hawaii Press. Honolulu, Hawaii. 352 p.
- Araya, M., & Cubillos, L. (2002). El análisis retrospectivo del crecimiento en peces y sus problemas asociados. *Gayana* 66, 161-179.
- Arellano-Martínez, M., Rojas-Herrera, A., García-Domínguez, F., Ceballos-Vázquez, B. P., & Villalejo-Fuerte, M. (2001). Reproductive cycle of the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) in the Guerrero coast, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36 (1), 1-8.
- Ballester, D. (2006). Capítulo VI, El Domo térmico de Costa Rica. En: V. Nielsen-Muñoz & M. Quesada-Alpizar (Eds.), *Ambientes marino costeros de Costa Rica* (69-85 p.). Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, Informe Técnico. CIMAR, CI, TNC. San José, Costa Rica.
- Brenes, C. L., Lavín, M. F., & Mascarenhas, A. S. (2008). Geostrophic circulation between the Costa Rica Dome and Central America. *Deep-Sea Research I*, 55, 608-629.
- Brenes, C. L., León, S., & Chaves, J. (2001). Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49 (2), 145-152.
- Bussing, W. A., & López-Sánchez, M. I. (2011). *Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de Centroamérica meridional*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 168 p.

- Cadima, E. L. (2003). *Manual de evaluación de recursos pesqueros*. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Roma, Italia. 162 p.
- Campbell, S. J., & Pardede, S. T. (2006). Reef fish structure and cascading effects in response to artisanal fishing pressure. *Fisheries Research*, 79, 75-83.
- Claro, R. (1994). *Ecología de los peces marinos de Cuba*. Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Quintana Roo, México. 525 p.
- Cordero, P., & Solano, F. (2000). El manglar más grande de Costa Rica: experiencias de la UICN en el proyecto DANIDA- Manglares de Térraba-Sierpe. UICN. San José, Costa Rica. 40 p.
- Correa-Herrera, T., & Jiménez-Segura, L. F. (2013). Reproductive biology of *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) in Utría National Park, Colombian Pacific. *Revista de Biología Tropical*, 61 (2), 829-840.
- Cushing, D. H. (1975). *Ecología marina y pesquerías*. Acribia. 252 p.
- Denyer, P., & Kussmaul, S. (2012). *Geología de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 515 p.
- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (1975). *Manual de ciencia pesquera parte 2 - Métodos para investigar los recursos y su aplicación*. FAO. Roma, Italia. Recuperado el Abril de 2022, de <https://www.fao.org/3/f0752s/F0752S00.htm#toc>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2004). *Información sobre la ordenación pesquera de la república de Costa Rica*. Roma, Italia. Recuperado el Abril de 2022, de <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/CRI/profile.htm>
- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2011). *Review of the state of world marine fishery resources*. FAO. Roma, Italia. 334 p.
- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2018). *The state of world fisheries and aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. FAO. Roma, Italia. 210 p.

- Farías-Tafolla, B., Arias-Zumbado, F., Chaves-Zamora, I., Alvarado-Ruiz, C., & Espinoza, M. (2022). Dinámica espacio-temporal de la pesquería artesanal en el Golfo de Santa Elena, Pacífico norte de Costa Rica (2010-2019). *Revista de Biología Tropical*, 70 (1), 557-575.
- Fernández-Carvajal, D. (2013). Pesca artesanal y pobreza en comunidades aledañas al Golfo de Nicoya. *Revista de Ciencias Sociales*, 140,137-152.
- Fiedler, P. C. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Research I*, 49, 321-338.
- Fischer, A. J., Baker Jr., M. S., & Wilson C. A. (2004). Red snapper (*Lutjanus campechanus*) demographic structure in the northern Gulf of Mexico based on spatial patterns in growth rates and morphometrics. *Fishery Bulletin*, 102, 593-603.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental* (Vol. III). Roma, Italia: FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fonseca, M., & Solís, V. (2005). Pesca artesanal y participación en conservación de recursos marino-costeros. *Tropical Journal of Environmental Sciences*, 30 (1), 44-51.
- Fortaleza, M. A., & Nañola Jr., C. L. (2017). Age determination and body length relationship of two-spot red snapper (*Lutjanus bohar*). *Banwa B*, 1-12.
- Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2022). *FishBase*. Recuperado el Abril de 2022, de <https://www.fishbase.de/summary/Lutjanus-guttatus.html>
- Gallardo-Cabello, M., Sarabia-Méndez, M., Espino-Barr, E., & Anislado-Tolentino, V. (2010). Biological aspects of *Lutjanus peru* in Bufadero Bay, Michoacán, México: growth, reproduction and condition factors. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45 (2), 205-2015.
- García, A. V., Montreuil, V., & Rodríguez, R. (1998). *Talla de la primera maduración y época de desove de "doncella" (Pseudoplatystoma fasciatum) en la*

- amazonía peruana*. Instituto de investigaciones de la amazonía peruana. Programa de ecosistemas acuáticos.
- Grimes, C. (1987). Reproductive biology of the Lutjanidae: a review. En J. J. Polovina, & S. Ralston (Eds.), *Tropical snappers and groupers, ecology and management* (239-294 p.). Avalon Publishing. Virginia, E.U.A.
- Gulland, J. (1971). *Manual de métodos para la evaluación de poblaciones de peces*. España. 180 p.
- Haddon, M. (2001). *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman & Hall/CRC. London.
- INCOPESCA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). (2018). *Tallas legales de primera captura (TLPC) respondiendo a las tallas de primera madurez sexual*. Recuperado el Junio de 2023, de Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura:
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=85802
- INCOPESCA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). (2022). *Información de producción nacional pesquera anual*. Recuperado el Abril de 2022, de Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura:
<https://www.incopescas.go.cr/publicaciones/estadisticas/historico/2016.html>
- Jolivet, A., Fablet, R., Bardeau, J. F., & de Pontual, H. (2013). Preparation techniques alter the mineral and organic fractions of fish otoliths: insights using Raman micro-spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405 (14), 4787-4798.
- King, M. (2007). *Fisheries biology, assessment and management* (Segunda ed.). Blackwell Publishing. 396 p.
- Lokrantz, J., Nyström, M., Norström, A. V., Folke, C., & Cinner, J. E. (2010). Impacts of artisanal fishing on key functional groups and the potential vulnerability of coral reefs. *Environmental Conservation*, 36 (4), 327-337.
- Martínez-Pérez, J. A., Del Moral-Flores, L. F., Chávez-Arteaga, M. M., Tello-Musi, J. L., Santillán-Reyes, C., Ramírez-Villalobos, A. J., De Sucre-Medrano, A.

- E., & Quintanar-Zuñiga, R. E. (2012). Los otolitos y su importancia como herramienta de identificación de especies de peces óseos. En *Investigaciones ictiológicas en México: Temas selectos en honor al Dr. José Luis Castro Aguirre*. (47-56 p.). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Mayrat, A. (1970). Allométrie et taxinomie. *Revue de Statistique Appliquée*, 18 (4), 47-58.
- Mazumder, S. K., Das, S. K., Bakar, Y., & Ghaffar, M. A. (2016). Effects of temperature and diet on length-weight relationship and condition factor of the juvenile Malabar blood snapper (*Lutjanus malabaricus* Bloch & Schneider, 1801). *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)*, 17 (8), 580-590.
- Mongeon, C., Granek, E. F., & Arauz, R. (2013). Hook selectivity in an artisanal spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* fishery on the Nicoya peninsula, Costa Rica. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 5, 270-280.
- Mora, C., Myers, R. A., Coll, M., Libralato, S., Pitcher, T. J., Sumaila, R. U., . . . Worm, B. (2009). Management effectiveness of the world's marine fisheries. *PLoS Biology*, 7 (6), e1000131.
- Morales, M., & González, L. W. (2010). Edad y crecimiento del pez *Haemulon steindachneri* (Perciformes: Haemulidae) en el suroeste de la isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58 (1), 299-310.
- Olaya-Nieto, C., Tordecilla-Petro, G., & Segura-Guevara, F. (2008). Relación longitud-peso del rubio (*Salminus affinis* steindachner, 1880) en la cuenca del río Sinú, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 13 (2), 1349-1359.
- Patterson, W. F. III., Cowan Jr., J. H., Wilson, C. A., & Shipp, R. L. (2001). Age and growth of red snapper, *Lutjanus campechanus*, from an artificial reef area off Alabama in the northern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 99, 617-627.

- Quesada-Alpízar, M. A., & Cortés, J. (2006). Los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica: estado de conocimiento y perspectivas de manejo. *Revista de Biología Tropical*, 54 (1), 101-145.
- Quirós-Arias, L. (2017). Tourism and territory in natural protected areas – the case of Santa Rosa National Park: from national monument to the conservation of the tropical forest, Guanacaste Conservation Area, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1, 91-136.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ramos-Cruz, S. (2001). Evaluación de la pesquería de huachinango *Lutjanus peru* en la zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México, durante 1995. *Ciencia pesquera*, 15, 151-158.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*. 191, 382.
- Rojas M, J. R. (1996-1997a). Hábitos alimentarios del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44/45 (3/1), 471-476.
- Rojas M, J. R. (1996-1997b). Fecundidad y épocas de reproducción del "pargo mancha" *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44/45 (3/1), 477-487.
- Ruttenberg, B. (2001). Effects of artisanal fishing on marine communities in the Galapagos Islands. *Society for Conservation Biology*, 15 (6), 1691-1699.
- Ruzzante, D. E., Mariani, S., Bekkevold, D., André, C., Mosegaard, H., Clausen, L. A., Dahlgren, T. G., Hutchinson, W. F., Hatfield, E. M., Torstensen, E., Brigham, J., Simmonds, E. J., Laikre, L., Larsson, L. C., Stet, R. J., Ryman, N., & Carvalho, G. R. (2006). Biocomplexity in a highly migratory pelagic marine fish, Atlantic herring. *Proceedings: Biological Sciences*, 273 (1593), 1459-1464.

- Saborido-Rey, F. (2008). *Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos*. Universidad de Vigo. Instituto de Investigaciones Marinas. España. 71 p.
- Salazar Araya, S. (2013). Situación actual de la pesca artesanal en Costa Rica. *Anuario de Estudios Centroamericanos. Universidad de Costa Rica*, 39, 311-342.
- Sinclair, M., & Valdimarsson, G. (Eds.). (2014). *Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*. CABI & FAO. Roma, Italia. 426 p.
- Smith, P. J. (1996). *La diversidad genética de los recursos pesqueros marinos. Posibles repercusiones en la pesca*. (FAO, Ed.) Recuperado el Mayo de 2022, de Documento técnico de pesca no. 334: <http://www.fao.org/3/V4865S00.htm>
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1987). *Introduction to Biostatistics* (Segunda ed.). Freeman. New York, U.S.A. 363 p.
- Soto-Rojas, R. L., Hernández-Noguera, L. A., & Vega-Alpizar, J. L. (2018). Parámetros poblacionales y hábitos alimenticios del pargo mancha (*Lutjanus guttatus*) en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor, Golfo de Nicoya, Costa Rica. *UNICIENCIA*, 32 (2), 96-110.
- Soto-Rojas, R. L., Mejía-Arana, F., Palacios, J. A., & Hiramatsu, K. (2009). Reproducción y crecimiento del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57 (1-2), 125-131.
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1995). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales*. FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 420 p.
- Stergiou, K. I., & Moutopoulos, D. K. (2001). A review of length-weight relationships of fishes from Greek Marine Waters. *Fishbyte*, 24 (1-2), 23-39.
- Vargas, B. M. (1998-1999). Estimación de parámetros biológico-pesqueros para el pargo mancha *Lutjanus guttatus* en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *UNICIENCIA*, 15-16, 79-84.

- Vega, A. J., Robles, Y. A., Boniche, S., & Rodríguez, M. (2008). Aspectos biológico-pesqueros del género *Cynoscion* (Pisces:Scianidae) en el Golfo de Montijo, Pacífico panameño. *Tecnociencia*, 10 (2), 9-26.
- Villalobos-Rojas, F., Herrera-Correal, J., Garita-Alvarado, C. A., Clarke, T., & Beita-Jiménez, A. (2014). Actividades pesqueras dependientes de la ictiofauna en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 62 (4), 119-137.
- Ward, P., & Myers, R. A. (2005). Shifts in open-ocean fish communities coinciding with the commencement of commercial fishing. *Ecology*, 86 (4), 835-847.
- Wolff, M., Koch, V., Bautista-Chavarría, J., & Vargas, J. A. (1998). A trophic flow model of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 46 (6), 63-79.
- Zanella, I., & López-Garro, A. (2015). Abundancia, reproducción y tallas de tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) en la pesca artesanal de Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63 (1), 307-317.

CAPITULO 2. Análisis de la estructura poblacional del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) del Pacífico de Costa Rica, a través de la composición isotópica en otolitos.

En formato de artículo científico para publicación en la Revista de Biología Tropical

Análisis de la estructura poblacional del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) del Pacífico de Costa Rica, a través de la composición isotópica en otolitos.

Resumen

Introducción: el conocimiento de las características poblacionales de una especie con importancia económica es fundamental para el manejo y gestión adecuado de las pesquerías. En Costa Rica, el pargo mancha *Lutjanus guttatus* es un recurso económicamente importante ya que esta especie es objetivo de las flotas artesanales. Su gestión se realiza considerando una sola población; sin embargo, no hay evidencia científica que permita disputar lo mencionado. Existe un creciente interés en el uso de firmas isotópicas de otolitos como etiquetas naturales exitosas para estudios de estructura de poblaciones de peces por lo que su análisis brinda información esencial para las decisiones de gestión. **Objetivo:** en este estudio se aplicaron, por primera vez, análisis isotópicos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) en otolitos de *L. guttatus* capturados en la costa del Pacífico de Costa Rica, para determinar la estructura de la población. **Métodos:** se analizaron 90 especímenes, con el fin de conocer diferencias o similitudes en la razón isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) en el núcleo y margen de los otolitos de organismos capturados a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica, que den indicios de su estructura poblacional. **Resultados:** se observaron variaciones en la razón isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) entre el núcleo y el margen de los otolitos en el Pacífico norte (PN), Pacífico central (PC) y Pacífico sur (PS), evidenciando un cambio de hábitat a lo largo del ciclo de vida (juveniles vs adultos); sin embargo no se observaron diferencias significativas entre la razón isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en el núcleo ni en el margen entre zonas de captura sugiriendo que se trata de una sola población la que se encuentra bajo explotación en Costa Rica. **Conclusión:**

los organismos juveniles y los adultos de *L. guttatus* habitan ambientes diferentes; sin embargo, se presume una sola población en el Pacífico de Costa Rica.

Palabras clave

Lutjanidae, *sagittae*, análisis isotópico, análisis microquímico, Pacífico Tropical Oriental.

Abstract

Introduction: knowledge of population characteristics of economically important species with is a fundamental factor for the management of fisheries. In Costa Rica, the spotted snapper *Lutjanus guttatus* is an economically important resource and represents a target species of the artisanal fishery. The management of this species is based on the assumption of one single population; however, there is no scientific evidence available to support this assumption. There is growing interest in the use of otolith isotopic signatures as successful natural labels for fish population structure studies, so their analysis provides essential information for management decisions.

Objective: in this study, for the first time, oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) isotopic analysis in otoliths was applied to provide information on the population structure of *L. guttatus* captured on the Pacific coast of Costa Rica. **Methods:** a total of 90 specimens captured along the Pacific coast of Costa Rica were analyzed to determine differences or similarities in the oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) isotopic ratios in the nuclei and margin of the otoliths, which give indications of their population structure. **Results:** variations in the oxygen isotopic ratio ($\delta^{18}\text{O}$) were observed between the nuclei and the margin of the otoliths in the northern Pacific (NP), central Pacific (CP) and southern Pacific (SP), evidencing a change of habitat throughout the life cycle (juveniles vs. adults); however, no significant differences were observed between the oxygen isotope ratio ($\delta^{18}\text{O}$) in the nuclei or in the margin between capture zones, suggesting that it is a single population under exploitation in Costa Rica. **Conclusion:** juvenile organisms and adults of *L. guttatus* inhabit

different environments; however, it is assumed a single population of this species is exploited in the Pacific of Costa Rica.

Keywords

Lutjanidae, *sagittae*, isotopic analysis, microchemical analysis, Eastern Tropical Pacific.

INTRODUCCIÓN

La alta presión pesquera puede limitar la conectividad y estructurar las poblaciones en subpoblaciones o pequeños grupos aislados de individuos (Begon et al., 2006; King, 2007). El conocimiento poblacional de las especies con importancia económica funge como base para un adecuado manejo y gestión de las pesquerías (Parada et al., 2013) ya que las variaciones en su estructura dentro de un ámbito geográfico repercute en los niveles de explotación y sustentabilidad de dicha actividad (Sinclair, 1988). Estrategias basadas en la estructura de las poblaciones explotadas y que permiten el ordenamiento sustentable, propician que los recursos pesqueros no disminuyan hasta niveles irreversibles comprometiendo la continuidad de la actividad extractiva o en su defecto, presentan la oportunidad de recuperación y de incrementar la rentabilidad a largo plazo (Alzugaray et al., 2019; FAO, 2018).

Los peces de la familia Lutjanidae, comúnmente llamados “pargos”, son un recurso pesquero muy importante en los mares tropicales y subtropicales a nivel mundial (Acero & Garzón, 1985). Los pargos son capturados por pescadores tanto de la flota artesanal como la industrial y son altamente comercializados para el consumo humano debido a la calidad de su carne y a las tallas que alcanzan algunas especies (Acero & Garzón, 1985; Fischer et al., 1995). El pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) se distribuye a lo largo del océano Pacífico, desde el norte de México hasta Perú y es una de las especies más abundantes y explotadas en las zonas tropicales (Allen & Robertson, 1994; Bussing & López-Sánchez, 2011; Froese & Pauly, 2022).

En Costa Rica, el pargo mancha es un recurso económicamente importante ya que esta especie es objetivo de las flotas artesanales que utilizan cuerda de fondo como principal arte de pesca (Farías-Tafolla et al., 2022; Mongeon et al., 2013). De acuerdo con las estadísticas más recientes del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA), se reporta extracción de un poco más de 178 toneladas de *L. guttatus* anualmente (INCOPECA, 2022); sin embargo, en el

periodo del 2006 al 2016 se ha observado una reducción en la captura anual del 15% (INCOPESCA, 2022). Esa disminución probablemente está relacionada con variaciones en su abundancia, indicando una sobre explotación del recurso (Soto-Rojas et al., 2018).

Como la mayoría de las especies de lutjánidos, el pargo mancha ocupa hábitats costeros, los individuos adultos se asocian al sustrato rocoso (Del Mar-Palacios & Zapata, 2014; Rojas, 1996-1997a), mientras que los juveniles se encuentran en estuarios y desembocaduras de ríos (Rojas, 1996-1997a). No se reporta una migración oceánica para la especie y como consecuencia, la conectividad es predominantemente a través de la dispersión de larvas pelágicas y está influenciada por las corrientes (Munguia-Vega et al., 2018). En algunas especies de lutjánidos, como el pargo rojo (*Lutjanus peru*) y el pargo amarillo (*L. argentiventris*) se ha demostrado que los patrones de circulación de las corrientes, así como condiciones oceanográficas como la temperatura, oxígeno y salinidad del agua, han limitado la conectividad por medio de la dispersión larval ocasionando que las poblaciones se encuentren estructuradas en subpoblaciones (Reguera-Rouzaud et al., 2021). El Pacífico de Costa Rica, presenta condiciones ambientales heterogéneas que pueden promover este efecto en la población de *L. guttatus*.

El Pacífico norte de Costa Rica es una zona con arrecifes rocosos y comunidades coralinas (Denyer & Kussmaul, 2012; Quirós-Arias, 2017). Además, presenta un fenómeno de surgencia costera durante la estación seca (diciembre-abril), en el cual las aguas profundas más frías emerjan hacia la superficie (Alfaro & Lizano, 2001; Brenes et al., 2008; Fiedler, 2002; Quirós-Arias 2017). El Pacífico central es una zona estuarina influenciada por el río Tempisque, Barranca y el río Tárcoles (Brenes et al., 2001), mismos que ingresan una gran cantidad de agua dulce durante la estación lluviosa (mayo-noviembre), teniendo un impacto significativo en las características del agua (Wolff et al., 1998). Finalmente, el Pacífico sur se caracteriza por presentar arrecifes coralinos y el manglar Térraba-

Sierpe el cual aporta una gran cantidad de agua dulce y sedimentos (Cordero & Solano, 2000).

La gran heterogeneidad que presentan las condiciones oceanográficas a lo largo del Pacífico de Costa Rica puede favorecer a que la población de *L. guttatus* se encuentre estructurada en subpoblaciones como ha pasado en especies hermanas. La estructura por tallas, la relación longitud total-peso, la talla media de madurez sexual y las tasas de crecimiento de esta especie varían regionalmente a lo largo de la costa de Costa Rica (Farías-Tafolla, Capítulo 1). Sin embargo, aun cuando las evidencias sugieren que es probable que la especie se divida en diferentes unidades de población; a falta de estudios que permitan disputar o confirmar dicha información, la gestión de esta especie actualmente se basa bajo la suposición subyacente de que es una sola población.

Una herramienta recientemente utilizada para conocer la estructura de las poblaciones de peces es el análisis microquímico de los otolitos. Los otolitos son estructuras de carbonato de calcio depositadas de manera cíclica y continua en forma de cristales de aragonita y metales traza (Carlström, 1963; Martínez-Pérez et al., 2018; Mascareñas-Osorio et al., 2003; Tuset et al., 2008). El proceso de formación de los otolitos comienza durante la etapa larvaria con la creación del núcleo y, posterior a la eclosión inicia la deposición cíclica de carbonato de calcio dando como resultado la formación de anillos de crecimiento (Lombarte & Leonart, 1993; Mascareñas-Osorio et al., 2003; Morales-Nin, 2000). Por lo anterior, el margen representa la última etapa del crecimiento del pez al momento de ser capturado.

La deposición de carbonato de calcio en los otolitos está regulada por el metabolismo y se ve afectado por factores exógenos (fluctuaciones en la temperatura, salinidad, disponibilidad de alimento y el crecimiento) (Morales-Nin, 2000). Lo anterior repercute en la composición microquímica de los otolitos, especialmente en la cantidad de isótopos estables (Campana, 1999; Elsdon &

Gillanders, 2002; Lombarte & Lleonart, 1993; Morales-Nin, 2000). La composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) presente en los otolitos es un reflejo de la composición de $\delta^{18}\text{O}$ presente en el agua en la que se habitan los peces (Campana, 1999; Kalish, 1991; Thorrold et al., 1997). Al no existir un efecto metabólico sobre este isótopo, su análisis permite la comparación directa sobre las condiciones ambientales en las que se desarrollaron los peces en cada estadio de vida, brindando información valiosa en la determinación de la dinámica y estructura poblacional de las especies.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue aplicar, por primera vez, análisis isotópicos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en otolitos para conocer la estructura de la población del pargo mancha *L. guttatus* del Pacífico de Costa Rica, con el fin de proporcionar información base para el manejo y gestión de las pesquerías que aprovechan el recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ejemplares de pargo mancha *L. guttatus* fueron obtenidos en los desembarques de la flota artesanal en 10 comunidades pesqueras localizadas a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica (Fig. 1). Los muestreos se realizaron durante la época lluviosa del 2018, que comprende los meses de mayo a noviembre.

Área de estudio

Las comunidades pesqueras consideradas en el presente estudio fueron agrupadas según región socioeconómica en Pacífico norte (PN), Pacífico central (PC) y Pacífico sur (PS; Fig. 1). Estas regiones del Pacífico de Costa Rica presentan características muy diferentes.

El PN es una zona que presenta características geológicas particulares, ya que está formada por el sistema rocoso más antiguo del país, mismo que deriva en

un lecho marino con alta complejidad estructural favoreciendo la formación de arrecifes rocosos y comunidades coralinas (Denyer & Kussmaul, 2012; Quirós-Arias, 2017). Además, esta zona está influenciada por factores oceanográficos particulares, tales como el fenómeno de afloramiento o surgencia costera que se produce durante la estación seca (diciembre-abril), momento en que los vientos alisios del norte empujan las masas de agua superficiales, contribuyendo a que las aguas profundas más frías emerjan hacia la superficie, transportando una gran cantidad de nutrientes, lo que incrementa la productividad primaria y permite una gran diversidad de organismos (Alfaro & Lizano, 2001; Brenes et al., 2008; Fiedler, 2002; Quirós-Arias 2017).

El PC es una zona estuarina ya que se encuentra influenciada por los principales ríos que desembocan en el Golfo de Nicoya: el río Tempisque, Barranca y el río Tárcoles que proporcionan agua dulce, misma que converge con las aguas de origen marino arrastradas por las corrientes (Brenes et al., 2001). Durante la estación seca (diciembre-abril) existe una mayor influencia de agua salada, mientras que durante la estación lluviosa (mayo-noviembre) ingresa una gran cantidad de agua dulce, misma que ejercen un impacto significativo en las características de sus aguas (Wolff et al., 1998). Lo anterior permite que esta zona presente una gran riqueza biológica y favorece el desove de especies marinas de alto valor comercial (Fernández-Carvajal, 2013).

Finalmente, el PS se caracteriza por presentar dos ecosistemas altamente productivos y que funcionan como áreas de crianza de una gran cantidad de especies marinas comerciales. Por un lado, se encuentran los arrecifes coralinos, ubicados hacia la comunidad de Uvita donde se encuentra el Parque Nacional Marino Ballena (Quesada-Alpizar & Cortés, 2006). Por otro lado, hacia Boca Coronado se encuentra la desembocadura del río Grande de Térraba el cual forma parte del manglar Térraba-Sierpe que es el más grande de Costa Rica, mismo que aporta una gran cantidad de agua dulce y sedimentos (Cordero & Solano, 2000; Quesada-Alpizar & Cortés, 2006).

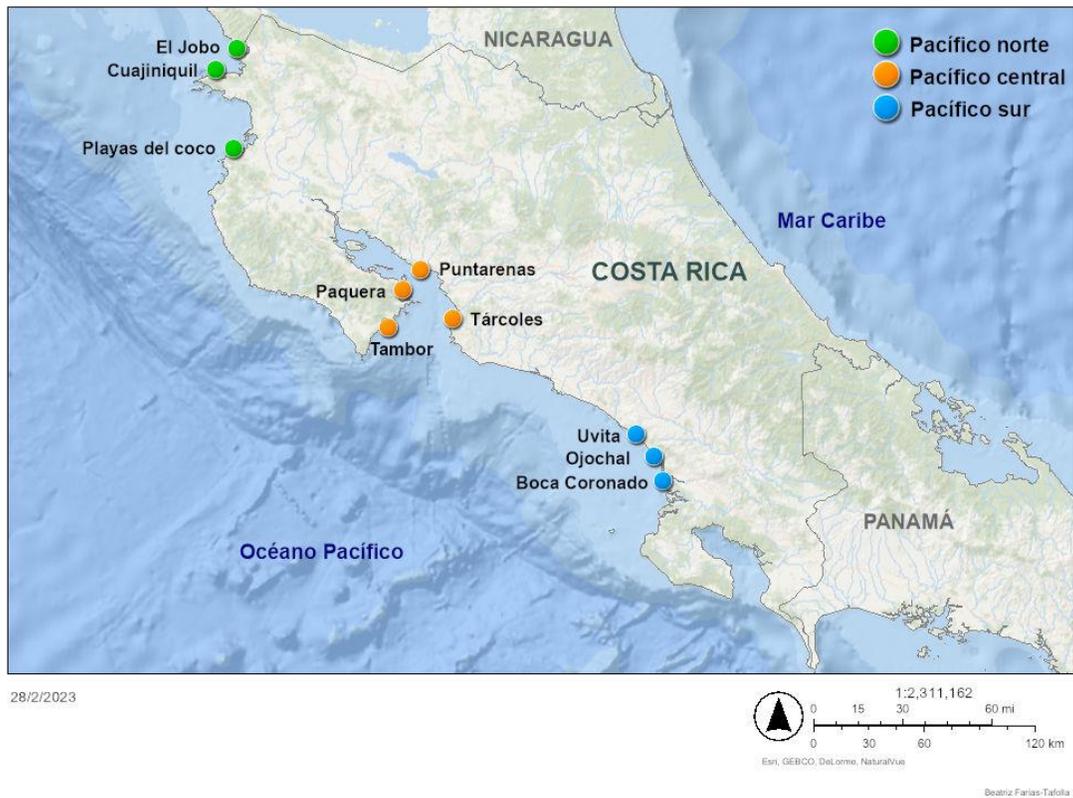


Figura 1. Comunidades pesqueras ubicadas en la costa del Pacífico de Costa Rica en donde se recolectaron las muestras del pargo mancha *Lutjanus guttatus* durante la época lluviosa (mayo - noviembre) del 2018.

Análisis de datos

Para cada uno de los individuos se registró la longitud total (LT, en cm) medida desde el borde anterior de la boca hasta el extremo final de la aleta caudal y el peso total (PT, en gramos). Se extrajeron los otolitos *sagitta* siguiendo la técnica de Martínez-Pérez et al. (2012); posteriormente, fueron limpiados, etiquetados y almacenados en seco hasta su procesamiento en el laboratorio.

Los otolitos fueron embebidos en resina epóxica y seccionados transversalmente a un grosor de 1 mm, con una cortadora de baja velocidad con navaja punta diamante (Buehler, ISOMETTM). Los cortes fueron pulidos con papel abrasivo de grano decreciente y alúmina de 0.05 micras; posteriormente se montaron sobre un portaobjetos utilizando Cytoseal 60 de baja viscosidad (Jolivet et al., 2013). Los cortes fueron analizados y fotografiados utilizando microscopía de luz transmitida. Para la determinación de la edad, se utilizó el otolito izquierdo; esto únicamente con el fin de estandarizar las lecturas ya que se ha demostrado que la elección del otolito en es indiferente (Martínez-Pérez et al., 2018). El conteo de anillos de crecimiento se realizó a partir del núcleo hacia el borde exterior (Fig. 2). A partir de la edad calculada se determinó el año de nacimiento de cada organismo.

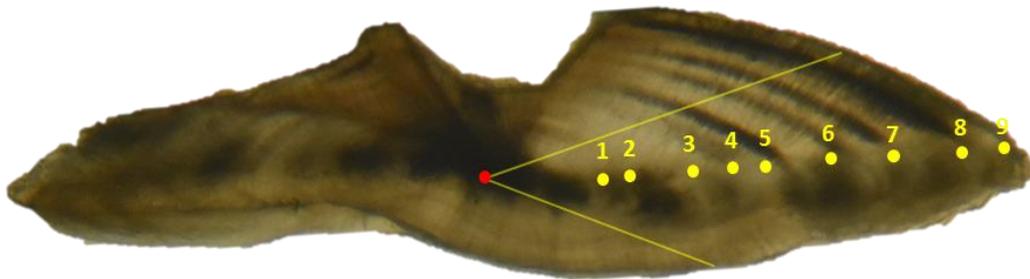


Figura 2. Corte transversal de un otolito del pargo mancha *Lutjanus guttatus*. Los puntos amarillos indican los anillos de crecimiento y la edad estimada.

El carbonato de calcio (CaCO_3) se extrajo del otolito derecho, esto únicamente con el fin de estandarizar el proceso ya que se ha demostrado que la elección del otolito es indiferente (Martínez-Pérez et al., 2018). La extracción del CaCO_3 se realizó del núcleo y en los últimos anillos de crecimiento (mayores de 5

años) correspondiente al estadio adulto. Para lo anterior se utilizó un micro taladro de alta precisión (ESI New Wave Micromill). Dado que los otolitos de *L. guttatus* son relativamente grandes (15.2 ± 1.0 mm de longitud y 8.3 ± 0.7 mm de altura), para la extracción del CaCO_3 se hizo una perforación de $250 \times 250 \times 250$ μm para las zonas del núcleo, y para el margen se trazó una línea de 800 μm de largo y 130 μm de profundidad (Fig. 3). Las submuestras de CaCO_3 fueron pesadas en una micro balanza de alta precisión (Sartorius ME36S) hasta alcanzar entre los 40 y 70 μg .

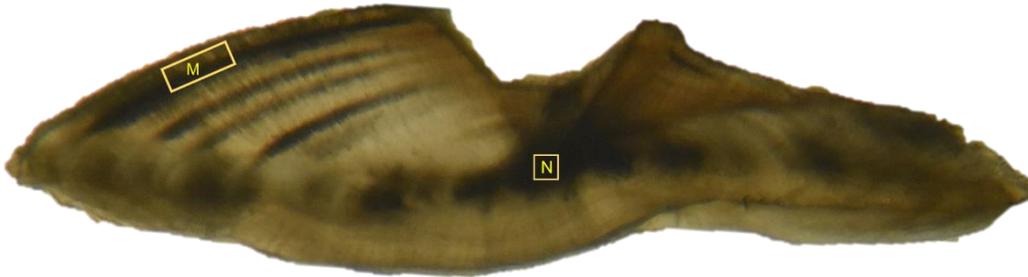


Figura 3. Ubicación de las perforaciones del núcleo (N) y margen (M) de donde se obtuvieron las submuestras de CaCO_3 en los otolitos del pargo mancha *Lutjanus guttatus*.

La medición del $\delta^{18}\text{O}$ se realizó con un espectrómetro de masas en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Arizona, Estados Unidos de América. Adicional a la medición de $\delta^{18}\text{O}$, por protocolo se obtuvo la medición del

isotopo de carbono $\delta^{13}\text{C}$. Los valores isotópicos de los otolitos tuvieron una precisión (desviación estándar) de 0.10 para $\delta^{18}\text{O}$ y de 0.08 para $\delta^{13}\text{C}$. Aproximadamente del 20 al 30% del CaCO_3 del otolito se deriva de fuentes metabólicas y el porcentaje restante proviene del carbono inorgánico disuelto en el agua (Campana, 1999). Si bien, la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ de los otolitos si tiene un efecto metabólico, el análisis conjunto de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ permite visualizar la variabilidad de los datos, por lo cual fueron considerados en algunos análisis estadísticos. Las razones isotópicas se reportan con la notación delta (δ) relativo al estándar internacional Vienna Peedee Belemnite (VPDB):

$$\delta (\text{‰}) = ((R_{\text{muestra}} / R_{\text{estándar}}) - 1) * 1000$$

en donde R es la abundancia de la relación entre isótopos pesados y ligeros para la muestra o el estándar.

Análisis estadístico

Utilizando el método de cuartiles (Zar, 1999), se identificaron valores atípicos de todos los valores isotópicos y se excluyeron de los análisis estadísticos. Se comparó la composición isotópica del núcleo y margen entre los organismos de una misma zona, así como entre zonas (Pacífico norte, Pacífico central y Pacífico sur), a través de Análisis de Varianza (ANOVA). Se utilizaron pruebas de Tukey para la comparación por pares. Todos los análisis en este estudio fueron efectuados en el programa estadístico R v.3.6.2 (R Core Team, 2021).

RESULTADOS

Se analizaron un total de 90 individuos de *Lutjanus guttatus* capturados a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica por la pesquería artesanal. En el PN, la talla varió entre los 22.5 y 49.3 cm y el peso entre 150 y 1850 g. En el PC, la talla varió

entre los 27.1 y 52.0 cm y el peso entre 350 y 1250 g. Finalmente, en el PS la talla varió entre los 30.0 y 66.5 cm y el peso entre 300 y 2750 g (Tabla 1).

Tabla 1. Información general de los organismos de pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. DE: desviación estándar, N: número de organismos muestreados por zona.

Zona	LT (cm)			Peso (g)			N
	Min-Máx	Promedio	DE	Min-Máx	Promedio	DE	
Pacífico norte	22.5-49.3	34.6	5.9	150-1850	520.9	324.6	30
Pacífico central	27.1-52.0	42.1	5.7	350-1250	882.3	257.4	30
Pacífico sur	30.0-66.5	42.7	9.1	300-2750	993.5	579.4	30

Con base en el análisis de los cuartiles superior e inferior, se identificaron los valores extremos. En el núcleo se obtuvieron valores estables para 84 muestras y se identificaron valores atípicos en seis muestras (cinco de $\delta^{18}\text{O}$ y uno de $\delta^{13}\text{C}$). Los valores extremos de $\delta^{18}\text{O}$ identificados en los núcleos corresponden a tres ejemplares capturados en el PC (0.83, 0.12 y -0.42 ‰) y dos organismos capturados en el PN (2.56 y -2.63 ‰) (Fig. 4A). El valor extremo de $\delta^{13}\text{C}$ identificado en el núcleo corresponde al PN (-2.10 ‰; Fig. 4B). Todos los valores extremos fueron excluidos de los análisis estadísticos puesto que las muestras podrían estar contaminadas.

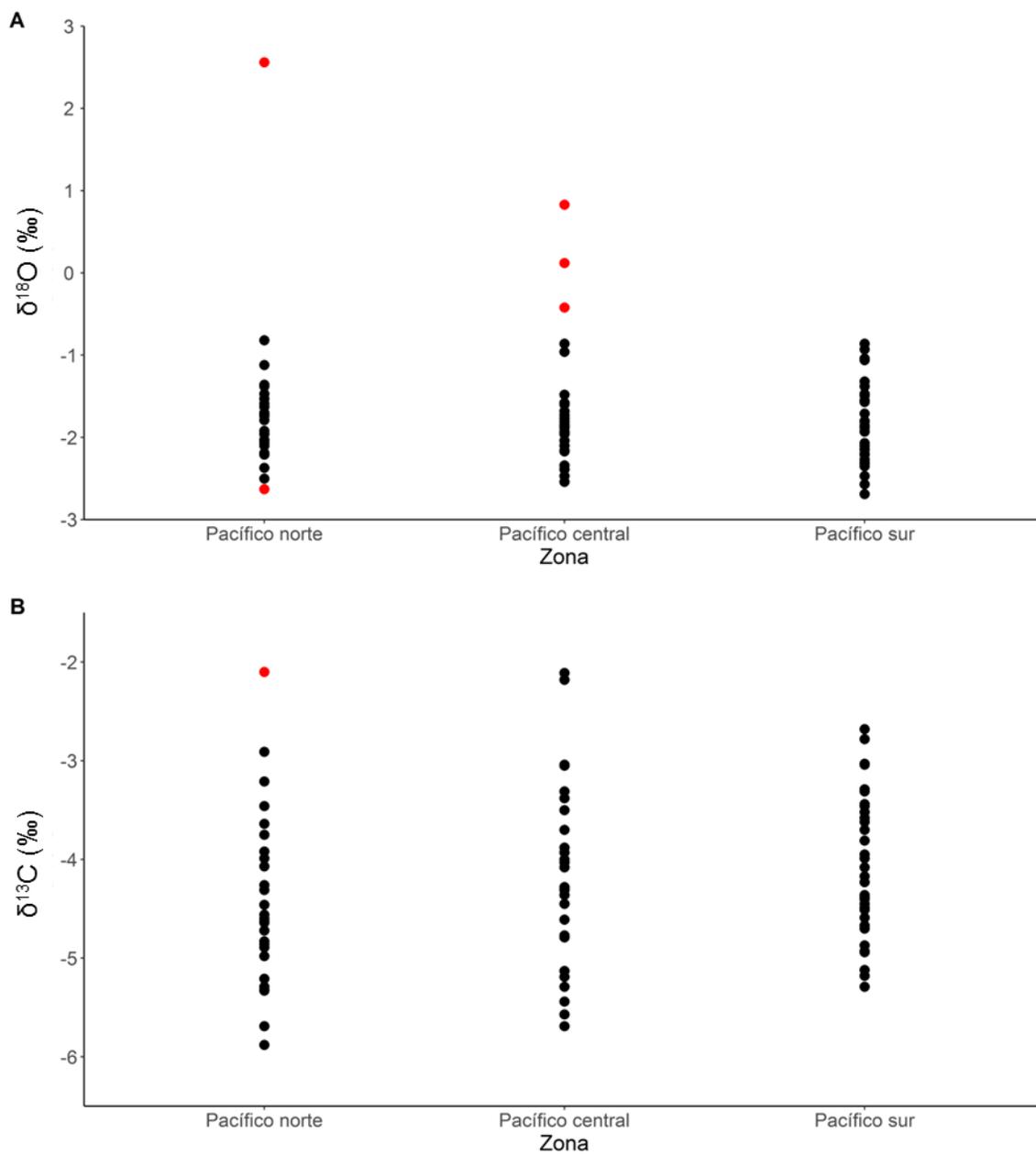


Figura 4. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el núcleo de los otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis.

En el margen se obtuvieron valores estables para 77 muestras y se identificaron valores atípicos en 13 muestras (10 de $\delta^{18}\text{O}$ y tres de $\delta^{13}\text{C}$). Los valores extremos de $\delta^{18}\text{O}$ identificados en los márgenes corresponden a cinco ejemplares capturados en el PN (3.09, 3.52, 3.65, 2.13 y 1.96 ‰), tres organismos capturados en el PC (1.46, 1.77 y 1.56 ‰) y a dos ejemplares capturados en el PS (2.80 y -2.01 ‰) (Fig. 5A). Los tres valores extremos de $\delta^{13}\text{C}$ identificados en el margen corresponden al PN (-4.13, -0.16 y -0.39‰) (Fig. 5B). Todos los valores extremos fueron excluidos de los análisis estadísticos puesto que las muestras podrían estar contaminadas.

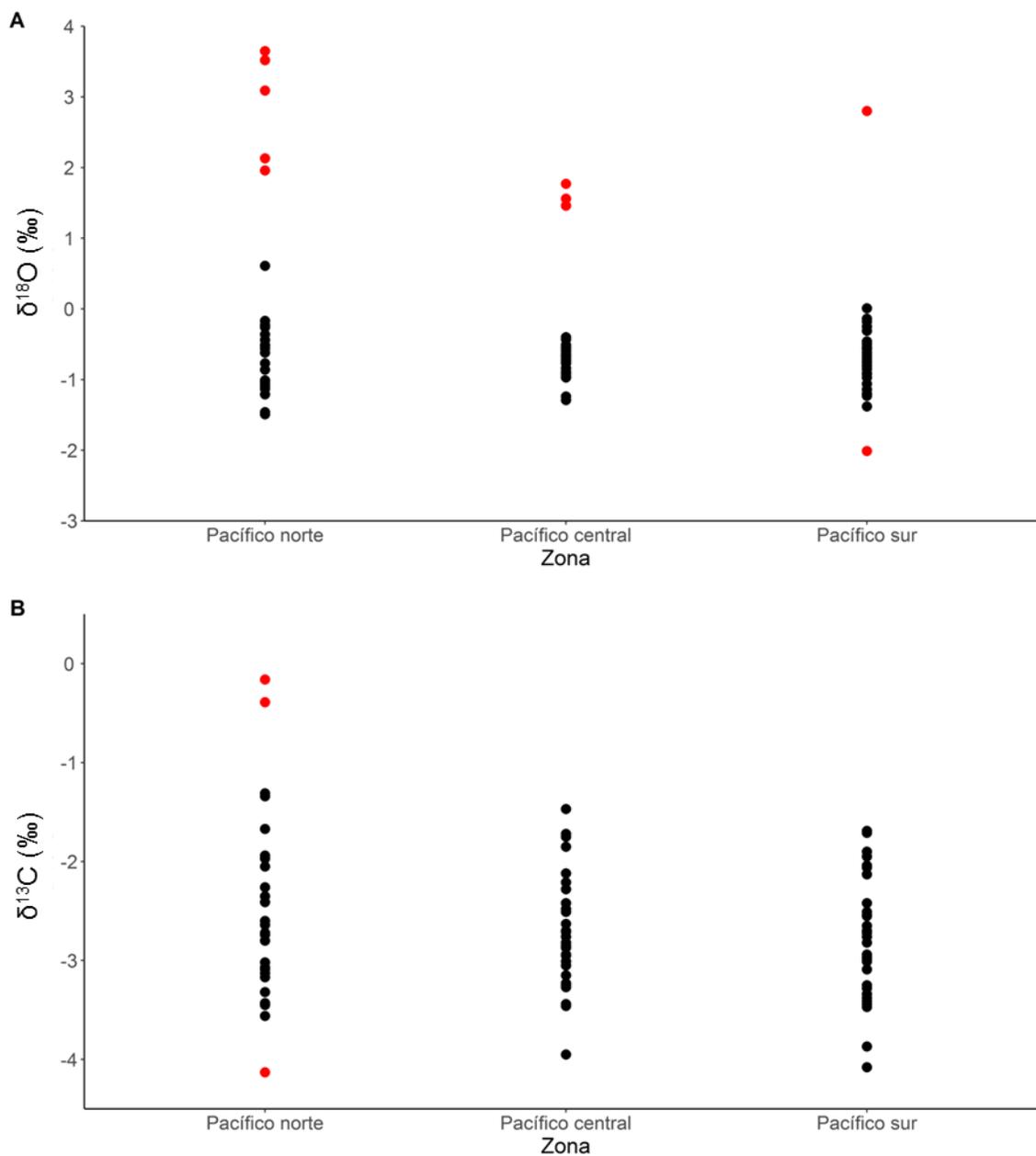


Figura 5. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el margen de los otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis.

Análisis isotópico de los otolitos dentro de las zonas de captura.

La razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ presentó diferencias significativas entre el núcleo y margen de los otolitos dentro de las zonas de captura ($F=327.14$, $p<0.05$ y $F=245.76$, $p<0.05$), observándose, en todos los casos, valores menores en el núcleo con respecto al margen (Fig. 6).

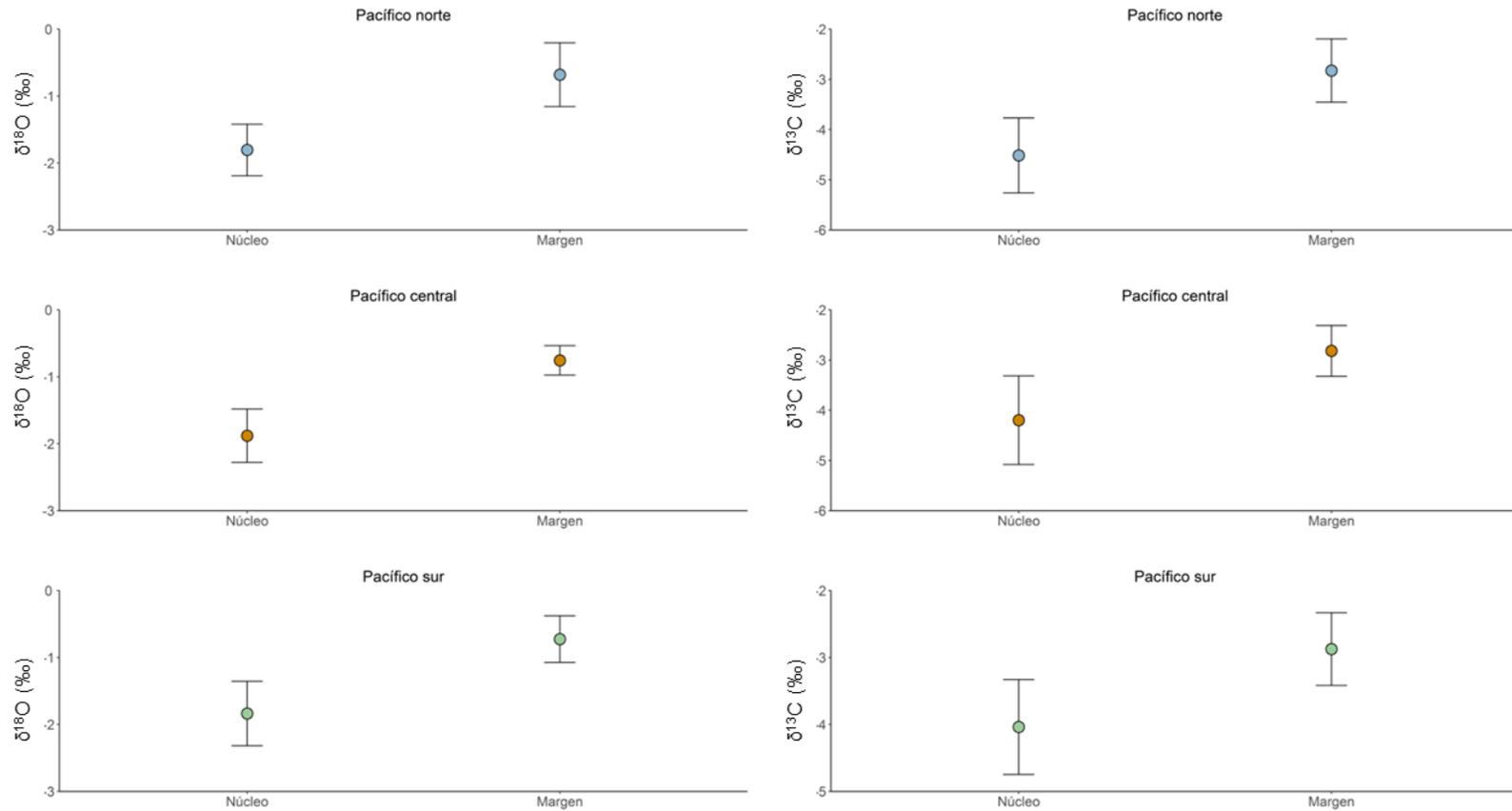


Figura 6. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar) medida en el núcleo (N=84) y margen (N=77) de otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* entre mayo y noviembre del 2018, de acuerdo con la zona de captura a lo largo del Pacífico de Costa Rica.

Análisis isotópico de los otolitos entre zonas.

La razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ medida en los núcleos de los otolitos no presentó diferencias significativas entre las zonas de captura ($F=0.09$, $p>0.05$). Sin embargo, la razón isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ si presentó diferencias significativas entre las zonas de captura ($F=2.53$, $p<0.05$). Dichas diferencias se encontraron entre el PN con respecto al PC y PS (95%, $p<0.05$).

El valor promedio de $\delta^{18}\text{O}$ medido en el núcleo de los otolitos fue -1.83 ± 0.41 ‰ en el PN (media \pm desviación estándar; intervalo -2.63 a 0.82 ‰), -1.88 ± 0.40 ‰ en el PC (intervalo: -2.54 a 0.86 ‰) y -1.84 ± 0.48 ‰ en el PS (intervalo: -2.69 a -0.86 ‰). El valor promedio de $\delta^{13}\text{C}$ medido en el núcleo fue -4.53 ± 0.74 ‰ en el PN (intervalo: -5.88 a -2.91 ‰), -4.16 ± 0.95 ‰ en el PC (intervalo: -5.69 a -2.11 ‰) y -4.09 ± 0.71 ‰ en el PS (intervalo: -5.29 a -2.68 ‰) (Fig. 7).

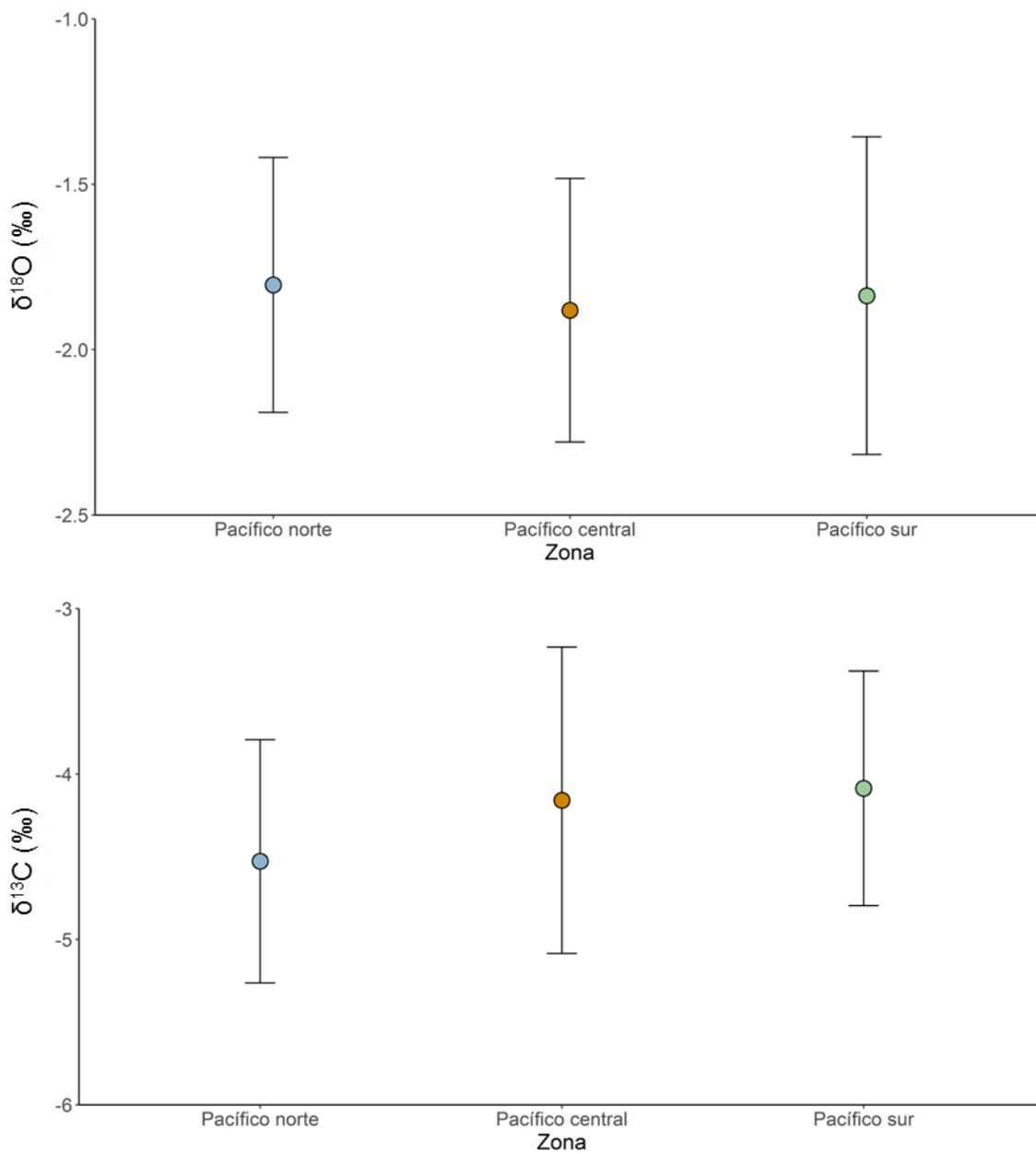


Figura 7. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar) medida en el núcleo de otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=84) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica.

La razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ medida en los márgenes de los otolitos no presentó diferencias significativas entre las zonas de captura ($F=0.26$, $p>0.05$ y $F=0.08$, $p>0.05$).

El valor promedio de $\delta^{18}\text{O}$ medido en el margen de los otolitos fue -0.68 ± 0.48 ‰ en el PN (intervalo: -1.49 a 0.61 ‰), -0.76 ± 0.22 ‰ en el PC (intervalo: -1.29 a -0.40 ‰) y -0.77 ± 0.41 ‰ en el PS (intervalo: -2.01 a 0.01 ‰). El valor promedio de $\delta^{13}\text{C}$ medido en el margen fue -2.83 ± 0.63 ‰ en el PN (intervalo: -4.13 a -1.34 ‰), -2.82 ± 0.51 ‰ en el PC (intervalo: -3.95 a -1.75 ‰) y -2.84 ± 0.57 ‰ en el PS (intervalo: -4.08 a -1.71 ‰) (Fig. 8).

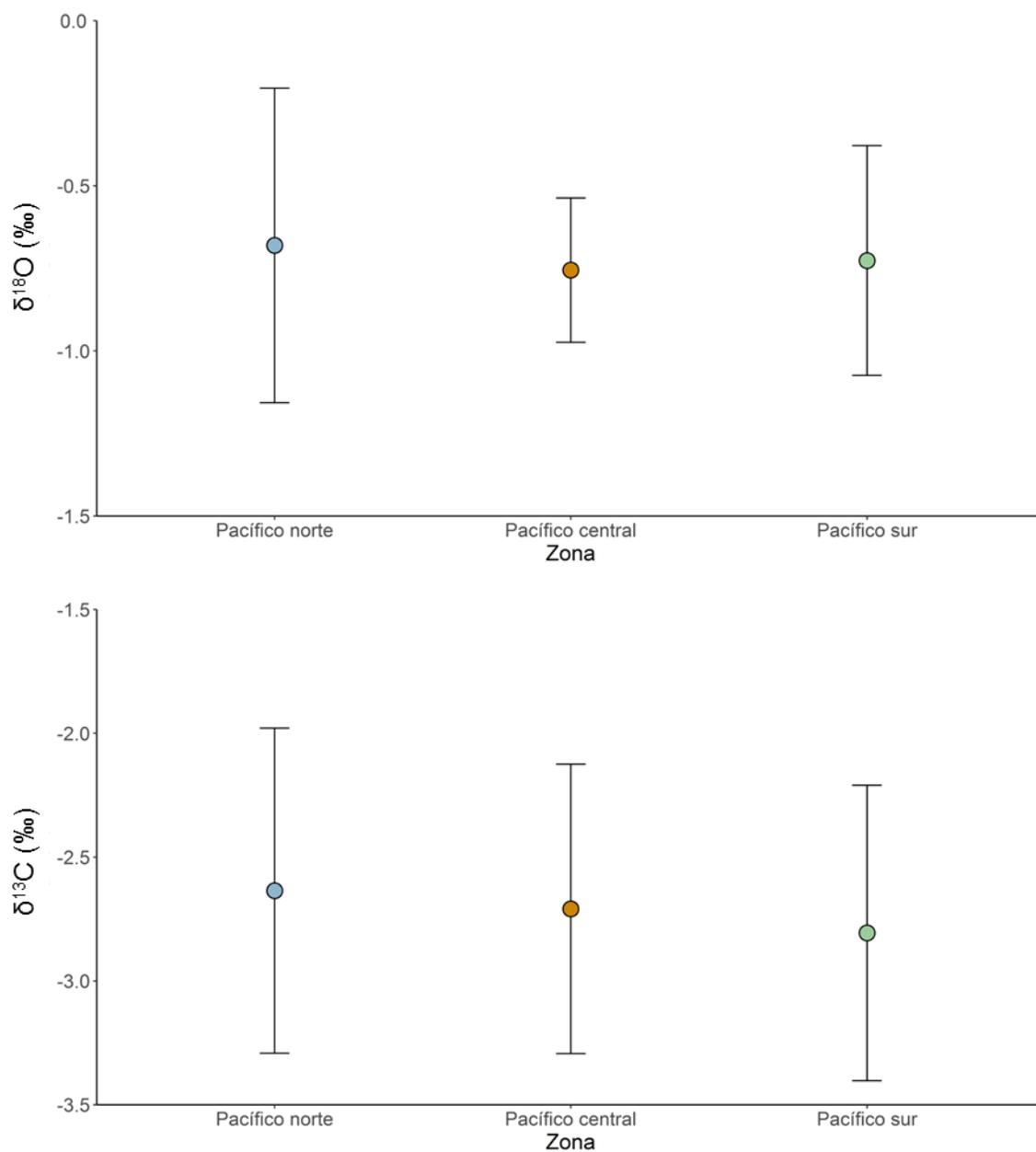


Figura 8. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (promedio \pm desviación estándar) medida en el margen de otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=77) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica.

Los individuos de *L. guttatus* analizados, presentaron edades que van desde cinco hasta los 20 años. La mayoría de los especímenes revisados se ubicaron entre los 6 y 11 años, representando el 68.9% (Tabla 4). Las edades estimadas para el grupo de peces capturados en el PN variaron de 5 a 15 años, en el PC de 5 a 17 años, y de 6 a 20 años los peces del PS (Fig. 4).

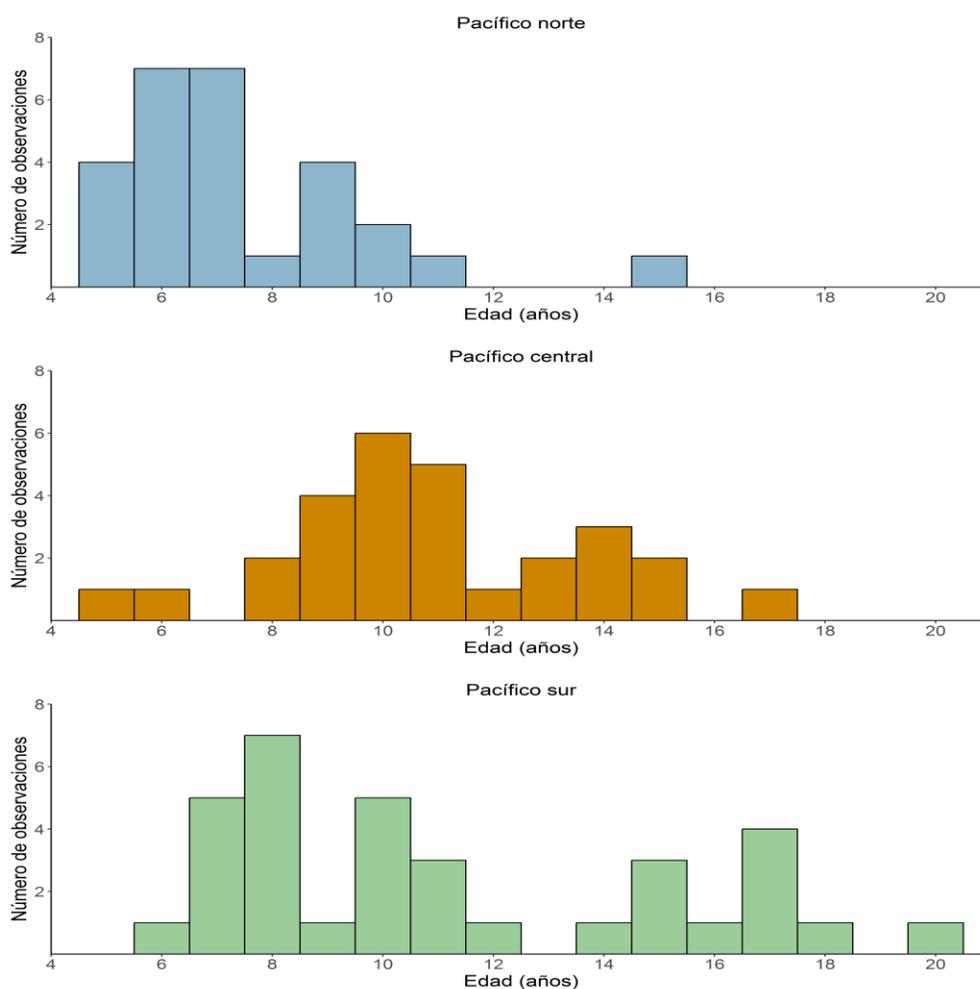


Figura 9. Edades estimadas del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados en la costa del Pacífico de Costa Rica entre mayo y noviembre del 2018, determinada a través de la lectura de anillos de crecimiento en otolitos (N=90).

El rango de valores de $\delta^{18}\text{O}$ en función del año de nacimiento mostró un alto nivel de dispersión, incluso cuando el número de individuos analizado para un año en particular fue limitado. De acuerdo con las edades estimadas para cada organismo, los años de nacimiento variaron del 2003 al 2014 en el PN, del 2001 al 2013 en el PC y de 1998 al 2012 en el PS (Fig. 9).

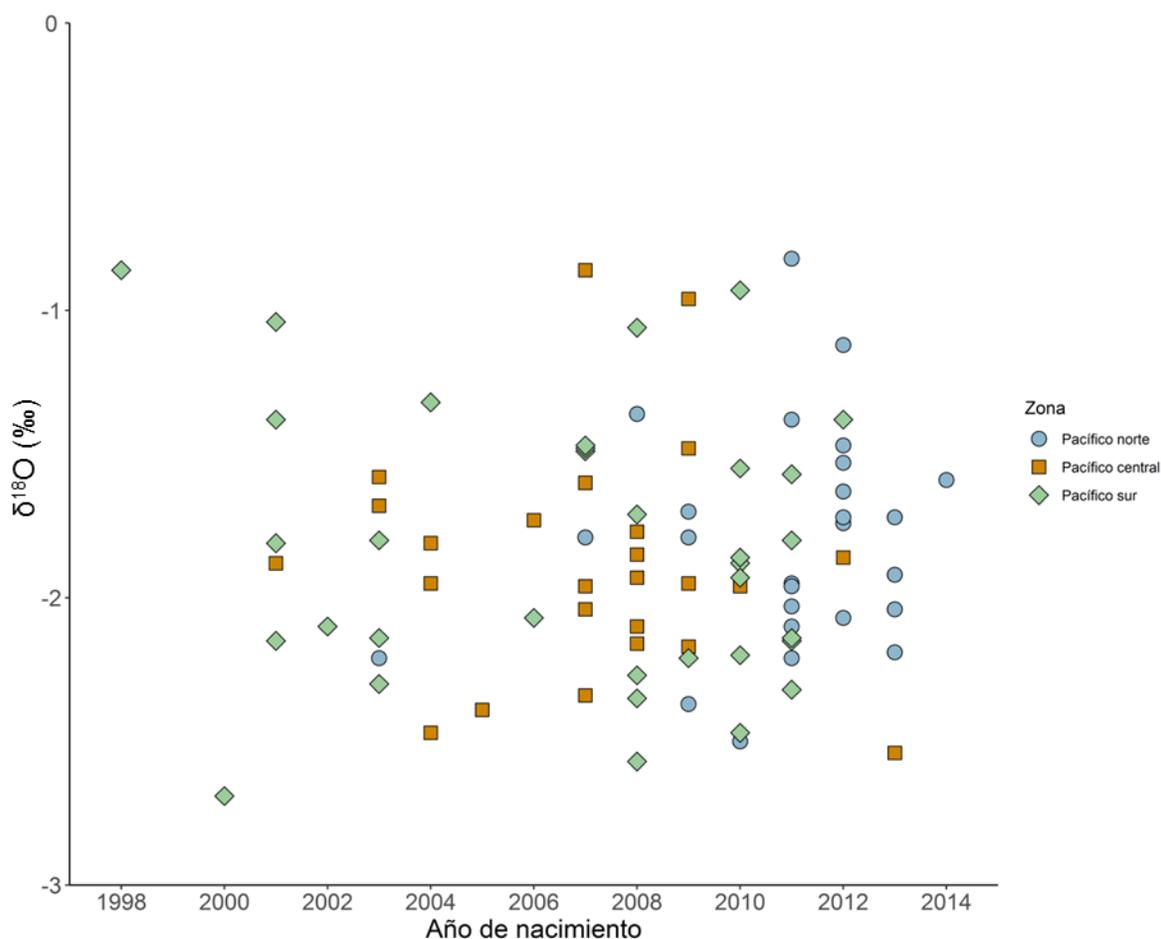


Figura 10. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ medida en el núcleo de otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=84) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica, de acuerdo con el año de nacimiento.

DISCUSIÓN

Existe evidencia de que los isótopos estables en los otolitos funcionan como etiquetas naturales exitosas para estudios de estructura de poblaciones de peces (Carvalho et al., 2017; Daros et al., 2016; Moreira et al., 2018). Dada los complejos ciclos de vida que presentan los peces, el análisis químico de los otolitos durante diferentes etapas de desarrollo proporciona un enfoque mucho más sólido para el estudio de su origen, movimiento y migración (Begg et al., 1999; Elsdon et al., 2008; Gao et al., 2013). En el presente estudio, el análisis de isótopos estables en el núcleo (estadio juvenil) y margen (estadio adulto) de los otolitos permitió determinar que el pargo mancha *L. guttatus* presente a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica pertenece a una sola población. Además, se logró evidenciar cierto grado de migración ontológica para la especie.

Los niveles de $\delta^{18}\text{O}$ en el otolito son directamente proporcionales a su concentración en el hábitat (Kalish, 1991; Rooker & Secor, 2004; Wurster et al., 1999). Por otro lado, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del carbono precipitado en los otolitos están en función de la composición isotópica del carbono inorgánico disuelto (CID) del agua, así como de los subproductos del metabolismo de los individuos (Campana, 1999; Elsdon et al., 2010; Kalish, 1991) y varía entre especies e incluso entre individuos de la misma especie (Iacumin et al., 1992). Dado que la razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ presentó diferencias significativas entre el núcleo y margen de los otolitos dentro de cada zona de captura, se evidenció la movilidad y el cambio de hábitat a lo largo del ciclo de vida de *L. guttatus*. Además, la diferencia en los niveles de $\delta^{13}\text{C}$ sugiere que los juveniles dependen de una fuente de alimento diferente a la de los adultos. Lo anterior, está respaldado por algunos estudios que muestran que *L. guttatus* presenta migraciones ontogénicas características de la especie (relacionadas principalmente con la reproducción), utilizando aguas costeras de poca profundidad (1-2 m) durante las primeras etapas de su vida y moviéndose a aguas de media profundidad (10-30 m) con fondos rocosos en sus etapas adultas (Allen & Robertson, 1994; Rojas, 1996-1997b). Así mismo, los cambios alimentarios

con respecto al estadio de vida están relacionados con las características ecosistémicas de cada hábitat crítico (Claro, 1983).

La composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ en la sección nuclear de otolitos entre las zonas de captura no mostró diferencias estadísticas; sin embargo, al analizar la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ se observaron diferencias significativas entre el Pacífico norte con respecto al Pacífico central y sur. Lo anterior sugiere la existencia de varias zonas de crianza con características ambientales muy similares, pero con la contribución relativa del carbono basado en los alimentos variable entre regiones. Algunos estudios han demostrado que durante su juventud *L. guttatus* habita en estuarios o bocas de ríos (Allen & Robertson, 1994; Rojas, 1996-1997b). Sin embargo, no se consideran organismos estuario-dependientes, ya que aun estando altamente asociados a estos sistemas, no los necesitan para completar su ciclo de vida (Martínez-Andrade, 2003; Vega, et al., 2015). A lo largo del Pacífico de Costa Rica existen múltiples esteros y desembocaduras de ríos que podrían ser zonas de crianza para la especie, por otro lado, las diferencias alimentarias que se observaron en el Pacífico norte podrían estar relacionadas con el tipo de ecosistema que se presenta en esta zona, ya que en su mayoría es arrecife rocoso (Denyer & Kussmaul, 2012; Quirós-Arias, 2017).

La similitud en la composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en los bordes de los otolitos entre el Pacífico norte, central y sur, sugiere que existe conectividad entre zonas. Así mismo, el aumento de $\delta^{18}\text{O}$ en los bordes de los otolitos en todas las zonas, indica un desplazamiento a hábitats más fríos, ya sea por migraciones reproductivas, migraciones tróficas a mayor proximidad a zonas de surgencia y/o a migraciones batimétricas a mayor profundidad que las zonas de crianza (Ashford & Jones, 2007; Coreia et al., 2021). En el Pacífico norte de Costa Rica los valores de $\delta^{18}\text{O}$ podrían no solamente estar afectados por migraciones batimétricas típicas de la especie sino también por su proximidad a una zona de surgencia, ya que durante la estación seca (diciembre-abril) se presenta un fenómeno de afloramiento o surgencia costera que contribuye a que las aguas profundas más frías emerjan

hacia la superficie, transportando una gran cantidad de nutrientes, lo que incrementa la productividad primaria (Alfaro & Lizano, 2001; Ballesteros, 2006; Brenes et al., 2008; Fiedler, 2002; Quirós-Arias, 2017).

Diferencias en las características ecosistémicas podrían limitar la conectividad de una población ocasionando que se estructure en subpoblaciones (Reguera-Rouzaud et al., 2021). En organismos como *L. guttatus*, la conectividad es predominantemente a través de la dispersión de larvas pelágicas (Munguia-Vega et al., 2018). Se ha demostrado que los organismos de *L. guttatus* presentes en la Provincia de Cortés y la Provincia Panámica del Pacífico Oriental Tropical, aun cuando se encuentran en regiones con marcadas diferencias ambientales, presentan altos niveles de conectividad y componen una misma población (Hernández-Álvarez et al., 2020). En el presente estudio, la razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ no presentó diferencias significativas tanto en el núcleo como en el margen de los otolitos de *L. guttatus* capturado en el Pacífico norte, central y sur, entregando la primera evidencia concreta de cierto grado de mezcla entre zonas tanto en la etapa juvenil como adulta. Por lo anterior, los resultados de la presente investigación sugieren que se trata de una misma población la que se encuentra en explotación en el Pacífico de Costa Rica.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por el Sistema de Estudios de Posgrado (SEP) y el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica (UCR). Así como, por el Laboratorio de Ecología Pesquera del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y el Módulo de Información Oceanográfica (MIO) del CIMAR. Los autores agradecen a los pescadores artesanales del Pacífico de Costa Rica por su apoyo y colaboración.

LITERATURA CITADA

- Acero P., A., & Garzón F., J. (1985). Los pargos (Pisces: Perciformes: Lutjanidae) del Caribe colombiano. *Actualidades Biológicas*, 14 (53), 89-99.
- Alfaro, E. J., & Lizano, O. G. (2001). Algunas relaciones entre las zonas de surgencia del Pacífico Centroamericano y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Revista de Biología Tropical*, 49 (2), 185-193.
- Allen, G. R., & Robertson, D. R. (1994). *Fishes of the tropical Eastern Pacific*. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii. 332 p.
- Alzugaray, R., Puga, R., Valle, S., Morales, O., Grovas, A., López, L., Kleisner, K., Boné, E., Mangin, T., Kritzer, J., Fujita, R., Márquez, F., & Karr, K. (2019). Un enfoque multiinstitucional para modelar el beneficio bioeconómico de perspectivas de manejo pesquero en Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 36 (2), 52-61.
- Ashford, J., & Jones, C. (2007). Oxygen and carbon stable isotopes in otoliths record spatial isolation of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 87-94.
- Ballester, D. (2006). Capítulo VI, El Domo térmico de Costa Rica. En: V. Nielsen-Muñoz & M. Quesada-Alpízar (Eds.), *Ambientes Marino Costeros de Costa Rica* (69-85 p.). Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, Informe Técnico. CIMAR, CI, TNC. San José, Costa Rica.
- Begg, G. A., & Waldman, J. R. (1999). A holistic approach to fish stock identification. *Fisheries Research*, 43 (1), 35-44.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (Cuarta ed.). Blackwell Publishing. London, United Kingdom. 714 p.
- Brenes, C. L., Lavín, M. F., & Mascarenhas, A. S. (2008). Geostrophic circulation between the Costa Rica Dome and Central America. *Deep-Sea Research I*, 55, 608-629.

- Brenes, C. L., León, S., & Chaves, J. (2001). Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49 (2), 145-152.
- Bussing, W. A., & López-Sánchez, M. I. (2011). *Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de Centroamérica meridional*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 168 p.
- Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otolith: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263-297.
- Carlström, D. (1963). A crystallographic study of vertebrate otoliths. *Biological Bulletin*, 125, 441-463.
- Carvalho, M. G., Moreira, C., Cardoso, J. F. M. F., Brummer, G. J. A., Gaever, P. V., Veer, H. W. V. D., Queiroga, H., Santos, P. T., & Correia, A. T. (2017). Movement, connectivity and population structure of the intertidal fish *Lipophrys pholis* as revealed by otolith oxygen and carbon stable isotopes. *Marine Biology Research*, 13 (7), 764-773.
- Claro, R. (1983). Ecología y ciclo de vida de la rabilirubia *Ocyurus chrysurus* (Bloch) en la plataforma cubana. Identidad, distribución, hábitat, reproducción y alimentación. I. *Academia de Ciencias de Cuba*, 15, 1-33.
- Cordero, P., & Solano, F. (2000). El manglar más grande de Costa Rica: experiencias de la UICN en el proyecto DANIDA- Manglares de Terraba-Sierpe. UICN, San José, Costa Rica. 40 p.
- Correia, A. T., Moura, A., Triay-Portella, R., Santos, P. T., Pinto, E., Almeida, A. A., Sial, A. N., & Muniz, A. A. (2021). Population structure of the chub mackerel (*Scomber colias*) in the NE Atlantic inferred from otolith elemental and isotopic signatures. *Fisheries Research* 234, 105785.
- Daros, F. A., Spach, H. L., Sial, A. N., & Correia, A. T. (2016). Otolith fingerprints of the coral reef fish *Stegastes fuscus* in southeast Brazil: a useful tool for population and connectivity studies. *Regional Studies in Marine Science*, 3, 262-272.

- Del Mar-Palacios, M., & Zapata, F. A. (2014). Fish community structure on coral habitats with contrasting architecture in the tropical eastern Pacific. *Revista de Biología Tropical*, 62, 343-357.
- Denyer, P., & Kussmaul, S. (2012). *Geología de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 515 p.
- Elsdon, T. E., Wells, B. K., Campana, S. E., Thorrold, S. R., & Walther, B. D. (2008). Otolith chemistry to describe movements of life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Oceanography and Marine Biology*, 46 (1), 297-330.
- Elsdon, T. S., Aybazian, S., McMahon, K. W., & Thorrold, S. R. (2010). Experimental evaluation of stable isotope fractionation in fish muscle and otoliths. *Marine Ecology Progress Series*, 408, 195-205.
- Elsdon, T. S., & Gillanders, B. M. (2002). Interactive effects of temperature and salinity on otolith chemistry: challenges for determining environmental histories of fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, 1796-1808.
- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2018). *The state of world fisheries and aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. FAO. Roma, Italia. 210 p.
- Farías-Tafolla, B., Arias-Zumbado, F., Chaves-Zamora, I., Alvarado-Ruiz, C., & Espinoza, M. (2022). Dinámica espacio-temporal de la pesquería artesanal en el Golfo de Santa Elena, Pacífico Norte de Costa Rica (2010-2019). *Revista de Biología Tropical*, 70 (1), 557-575.
- Fernández-Carvajal, D. (2013). Pesca artesanal y pobreza en comunidades aledañas al Golfo de Nicoya. *Revista de Ciencias Sociales*, 140, 137-152.
- Fiedler, P. C. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Research I*, 49, 321-338.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la*

- pesca. Pacífico centro-oriental* (Vol. III). Roma, Italia: FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Froese, R., & Pauly, D. (2022). *FishBase*. Recuperado el Abril de 2022, de <https://www.fishbase.de/summary/Lutjanus-guttatus.html>
- Gao, Y. W., Joner, S. H., & Bargmann, G. G. (2013). Stable isotopic composition of otoliths in identification of spawning stocks of Pacific herring (*Cumplea pallasii*) in Puget Sound. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 58 (1), 2113-2120
- Hernández-Álvarez, C., Bayona-Vásquez, N. J., Domínguez-Domínguez, O., Uribe-Alcocer, M., & Díaz-Jaimes, P. (2020). Phylogeography of the Pacific red snapper (*Lutjanus peru*) and spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) in the inshore Tropical Eastern Pacific. *Copeia*, 108 (1), 61-71.
- Iacumin, P., Bianucci, G., & Longinelli, A. (1992). Oxygen and carbon isotopic composition of fish otoliths. *Marine Biology*, 113 (4), 537-542.
- INCOPESCA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). (2022). *Información de producción nacional pesquera anual*. Recuperado el Abril de 2022, de Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura: <https://www.incopescas.go.cr/publicaciones/estadisticas/historico/2016.html>
- Jolivet, A., Fablet, R., Bardeau, J. F., & de Pontual, H. (2013). Preparation techniques alter the mineral and organic fractions of fish otoliths: insights using Raman micro-spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405 (14), 4787-4798.
- Kalish, J. M. (1991) ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibria in fish otoliths: metabolic and kinetic effects. *Marine Ecology-Progress Series* 75, 191-203.
- King, M. (2007). *Fisheries biology, assessment and management* (Segunda ed.). Blackwell Publishing. 396 p.
- Lombarte, A., & Leonart, A. (1993). Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes*, 37, 297-306.

- Martínez–Andrade, F. (2003). A comparison of life histories and ecological aspects among snappers (Pisces: Lutjanidae). Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 194 p.
- Martínez-Pérez, J. A., Del Moral-Flores, L. F., Chávez-Arteaga, M. M., Tello-Musi, J. L., Santillán-Reyes, C., Ramírez-Villalobos, A. J., De Sucre-Medrano, A. E., & Quintanar-Zuñiga, R. E. (2012). Los otolitos y su importancia como herramienta de identificación de especies de peces óseos. En *Investigaciones ictiológicas en México: Temas selectos en honor al Dr. José Luis Castro Aguirre*. (47-56 p.). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Martínez-Pérez, J. A., Morquecho-León, M. R. K., Farías-Tafolla, B., Badillo-Alemán, M., Gallardo-Torres, A., & Chiappa-Carrara, X. (2018). *Catálogo de otolitos sagitta de peces del Golfo de México*. UNAM. México. 199p.
- Mascareñas, O. I., Aburto, O. O., & Balart, F. E. (2003). *Otolitos de peces de arrecife del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. México. 120 p.
- Mongeon, C., Granek, E. F., & Arauz, R. (2013). Hook selectivity in an artisanal spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* fishery on the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 5, 270-280.
- Morales-Nin, B. (2000). Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fisheries Research*, 46, 53-67.
- Moreira, C., Froufe, E., Sial, A. N., Caeiro, A., Vaz-Pires, P., & Correia, A. T. (2018). Population structure of the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) in the NE Atlantic inferred from otolith microchemistry. *Fisheries Research*, 197, 113-122.
- Munguia-Vega, A., Marinone, S. G., Paz-Garcia, D. A., Giron-Nava, A., Plomozo-Lugo, T., Gonzalez-Cuellar, O., Weaver, A. H., García-Rodríguez, F.J., & Reyes-Bonilla, H. (2018). Anisotropic larval connectivity and metapopulation

- structure driven by directional oceanic currents in a marine fish targeted by small-scale fisheries. *Marine Biology*, 165, 1-16.
- Parada, C., Yannicelli, B., Hormazábal, S., Vásquez, S., Porobic, J., Ernst, B., . . . & Gretchina, A. (2013). Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41 (1), 1-28.
- Quesada-Alpízar, M. A. & Cortés, J. (2006). Los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica: estado de conocimiento y perspectivas de manejo. *Revista de Biología Tropical*, 54 (1), 101-145.
- Quirós-Arias, L. (2017). Tourism and territory in natural protected areas – the case of Santa Rosa National Park: from national monument to the conservation of the tropical forest, Guanacaste Conservation Area, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1, 91-136.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Reguera-Rouzaud, N., Díaz-Viloria, N., Pérez-Enríquez, R., Espino-Barr, E., Rivera-Lucero, M. I., & Munguía-Vega, A. (2021). Drivers for genetic structure at different geographic scales for Pacific red snapper (*Lutjanus peru*) and yellow snapper (*Lutjanus argentiventris*) in the tropical eastern Pacific. *Journal of Fish Biology*, 98, 1267-1280.
- Rojas M, J. R. (1996-1997a). Hábitos alimentarios del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44/45 (3/1), 471-476.
- Rojas M, J. R. (1996-1997b). Fecundidad y épocas de reproducción del "pargo mancha" *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44/45 (3/1), 477-487.
- Rooker, J., & Secor, D. H. (2004) Stock structure and mixing of Atlantic bluefin tuna: evidence from stable $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotopes in otoliths. *Collective Volume of Scientific Papers ICCAT*, 56, 1115-1120.

- Sinclair, M. (1988). *Marine populations an essay on population regulation and speciation*. University Washington Press. Seattle, USA. 252 p.
- Soto-Rojas, R. L., Hernández-Noguera, L. A., & Vega-Alpizar, J. L. (2018). Parámetros poblacionales y hábitos alimenticios del pargo mancha (*Lutjanus guttatus*) en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor, Golfo de Nicoya, Costa Rica. *UNICIENCIA*, 32 (2), 96-110.
- Thorrold, S. R., Campana, S. E., Jones, C. M., & Swart, P. K. (1997). Factors determining $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ fractionation in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61 (14), 2909-2919.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., & Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, 72 (S1), 7-198.
- Vega, A. J., Robles, Y. A., & Gody, K. (2015). El papel de los manglares como criaderos de pargo (Lutjanidae) en el Golfo de Chiriquí. *Tecnociencia*, 17 (2), 109-123.
- Wolff, M., Koch, V., Bautista-Chavarría, J., & Vargas, J. A. (1998). A trophic flow model of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 46 (6), 63-79.
- Wurster, C., Patterson, W., & Cheatham, M. (1999) Advances in micromilling techniques: a new apparatus for acquiring high-resolution oxygen and carbon stable isotope values and major/minor elemental ratios from accretionary carbonate. *Computers & Geosciences*, 25, 1159-1166.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. Michigan, E.U.A. 663 p.

CAPITULO 3. Identificación de hábitats esenciales del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) del Pacífico de Costa Rica a partir del isotopo estable $\delta^{18}\text{O}$ en otolitos.

En formato de artículo científico para publicación en la Revista de Biología Tropical

Identificación de hábitats esenciales del pargo mancha *Lutjanus guttatus*
(Perciformes: Lutjanidae) del Pacífico de Costa Rica a partir del isotopo estable
 $\delta^{18}\text{O}$ en otolitos.

Resumen

Introducción: la identificación de hábitats esenciales utilizados durante las diferentes etapas del ciclo de vida de las especies de peces permite entender su dinámica poblacional. En especies de importancia comercial esta información es primordial en el establecimiento de estrategias de manejo para su aprovechamiento sustentable y conservación. El pargo mancha *Lutjanus guttatus* presenta migraciones ontogénicas complejas, pero nuestro conocimiento de su historia de vida y de los hábitats críticos de la especie aún son limitados. Existe un creciente interés en el uso de firmas isotópicas de otolitos como etiquetas naturales para estudios de la dinámica de poblaciones de peces de interés comercial al proporcionar información necesaria para las decisiones de gestión del recurso.

Objetivo: identificar zonas potenciales de crianza y hábitat de los adultos del pargo mancha *L. guttatus* en el Pacífico de Costa Rica a partir del análisis del isótopo de oxígeno $\delta^{18}\text{O}$ en otolitos y el retro cálculo de la temperatura ambiental. **Métodos:** se analizaron 90 otolitos de *L. guttatus* recolectados en el Pacífico norte (PN), central (PC) y sur (PS) de Costa Rica. De cada otolito se obtuvieron cortes transversales, se estimó la edad de cada organismo y se midió la composición isotópica del $\delta^{18}\text{O}$ del núcleo (etapa larvaria) y margen (etapa adulta). A partir del $\delta^{18}\text{O}$ de cada región del otolito y la salinidad ambiental, se retrocalculó la temperatura a la cual habitaron los peces durante la etapa larvaria y adulta con la finalidad de caracterizar el hábitat esencial de esta especie. **Resultados:** Las edades estimadas para el grupo de peces capturado en el PN varió de 5 a 15 años, en el PC de 5 a 17 años, y de 5 a 20 años en el PS. El promedio y desviación estándar (DE) de los valores estimados de $\delta^{18}\text{O}$ del núcleo fueron de -1.68 ± 0.92

‰ en el PN, -1.66 ± 0.77 ‰ en el PC y -1.84 ± 0.48 ‰ en el PS. La composición promedio y DE del $\delta^{18}\text{O}$ del margen de los otolitos fue de -0.05 ± 1.48 ‰ en el PN, -0.50 ± 0.77 ‰ en el PC y -0.66 ± 0.73 ‰ en el PS. Las temperaturas retrocalculadas de las zonas de crianza de *L. guttatus* variaron entre 22 y 29°C en el PN y entre 20 y 29°C tanto en el PC como en el PS. En el hábitat de los adultos las temperaturas retrocalculadas oscilaron entre 13 y 23°C en el PN, entre 17 y 22°C en el PC y entre 20 y 29°C en el PS. **Conclusión:** a partir del análisis del $\delta^{18}\text{O}$ en los otolitos del pargo mancha *L. guttatus* se sugiere que durante la etapa larvaria y juvenil esta especie habita ambientes cálidos (20 a 29°C), en cambio los adultos tienen una preferencia por ambientes con temperaturas más frías entre 13 y 23 °C.

Palabras clave

Lutjanidae, *sagittae*, análisis isotópico, hábitat esencial, Pacífico Tropical Oriental.

Abstract

Introduction: the identification of essential habitats used during the different stages of the life cycle of fish species allows us to understand their population dynamics. In commercially important species, this information is essential in establishing management strategies for their sustainable use and conservation. The spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* exhibits complex ontogenetic migrations, but our knowledge of their life history and essential habitats for the species is limited. There is growing interest of using of otolith isotopic signatures as natural labels for studies of the dynamics of fish populations of commercial interest by providing necessary information for resource management decisions. **Objective:** to identify potential nursery areas and habitats for adults of spotted rose snapper *L. guttatus* in the Pacific of Costa Rica from the analysis of the $\delta^{18}\text{O}$ oxygen isotope in otoliths and the back calculation of the environmental temperature. **Methods:** 90 *L. guttatus* otoliths collected in the North (NP), Central (CP) and South (SP) Pacific of Costa Rica were

analyzed. Cross sections were obtained from each otolith, the age of each organism was estimated and the $\delta^{18}\text{O}$ isotopic composition of the nucleus (larval stage) and margin (adult stage) was measured. From the $\delta^{18}\text{O}$ of each region of the otolith and the environmental salinity, the temperature at which the fish inhabited during the larval and adult stages was back calculated to characterize the essential habitat of this species. **Results:** the estimated ages for the group of fish caught in the NP ranged from 5 to 15 years, in the CP from 5 to 17 years, and from 5 to 20 years in the SP. The mean and standard deviation (SD) of the estimated core $\delta^{18}\text{O}$ values were -1.68 ± 0.92 ‰ in the NP, -1.66 ± 0.77 ‰ in the CP and -1.84 ± 0.48 ‰ in the SP. The mean and SD composition of the $\delta^{18}\text{O}$ in the otolith margin were -0.05 ± 1.48 ‰ in the NP, -0.50 ± 0.77 ‰ in the CP and -0.66 ± 0.73 ‰ in the SP. The back calculated temperatures of the nursery areas of *L. guttatus* ranged between 22 and 29 °C in the NP and between 20 and 29 °C in the CP and SP. In the habitat of the adults, the back-calculated temperatures ranged between 13 and 23°C in the PN, between 17 and 22°C in the PC and between 20 and 29°C in the PS. **Conclusion:** from the analysis of $\delta^{18}\text{O}$ in the otoliths of the spotted rose snapper *L. guttatus*, it is suggested that during the larval and juvenile stages this species inhabits warm environments (20 to 29°C), while adults prefer environments with cooler temperatures between 13 and 23°C.

Keywords

Lutjanidae, *sagittae*, isotopic analysis, essential habitat, Eastern Tropical Pacific.

INTRODUCCIÓN

Son muchas las especies de peces que habitan ambientes marinos y/o costeros que realizan migraciones ontogénicas complejas, es decir, que cambian de hábitat a lo largo de su ciclo de vida (Beck et al., 2001; Sheaves et al., 2015). Estos sitios con características específicas, que son necesarios para que una especie lleve a cabo su alimentación, crecimiento, maduración y reproducción se les conoce como hábitat esencial (García-Hernández & Ordoñez-López, 2007; NOAA, 1999). Las zonas de crianza son consideradas un hábitat esencial en etapas tempranas de las especies de invertebrados y peces, ya que cuentan con las condiciones ambientales adecuadas para su crecimiento, además de proveer de alimento y refugio, lo cual aumenta la probabilidad de reclutamiento a la población de adultos (Beck et al., 2001; Dahlgren et al., 2006). Los hábitats que funcionan como zonas de crianza suelen ser ecosistemas costeros como arrecifes, lagunas costeras, bahías, manglares y estuarios o bocas de ríos (Salas et al., 2015; Cabrera-Paez et al., 2020; Espinoza et al., 2022; Henríquez, 2019; Rojas, 1996-1997). Una vez que alcanzan la madurez, durante la etapa adulta los peces migran hacia diferentes áreas de alimentación o reproducción (Cowen & Sponaugle, 2009; Dávalos-Navarro & Caballero-Vázquez, 2019).

La identificación de las regiones donde habitan los peces es de suma importancia para el mantenimiento de la población de peces al albergar a los potenciales reproductores (Dávalos-Navarro & Caballero-Vázquez, 2019). Así mismo, identificar los hábitats esenciales de una especie y determinar el grado de conectividad entre el área de crianza y el hábitat en donde se distribuyen los adultos es fundamental para asegurar la viabilidad de la población (Sheaves et al., 2015).

Muchas especies marinas costeras presentan migraciones ontogénicas complejas, donde la mayor dispersión se lleva a cabo durante la etapa larvaria por medio de procesos físicos y biológicos (Cowen & Sponaugle, 2009; Dávalos-Navarro & Caballero-Vázquez, 2019; Largier, 2003); sin embargo, la dispersión

también se puede dar a través de la migración de los adultos a diferentes áreas de alimentación o reproducción (Cowen & Sponaugle, 2009; Dávalos-Navarro & Caballero-Vázquez, 2019). La dispersión conlleva un cambio en el hábitat de los organismos y repercute en la conectividad poblacional, es decir, en el intercambio de individuos entre grupos (Begon et al., 2006). Recientemente se ha reconocido la relevancia que tiene conocer los hábitats esenciales de peces con gran importancia comercial, ya que es información que permite realizar una gestión óptima de las especies sujetas a explotación (García-Hernández & Ordoñez-López, 2007).

Los hábitats esenciales de los peces se pueden inferir a través de la determinación de las condiciones ambientales en las que habitan los peces en cada estadio de su ciclo de vida. Actualmente esto es posible gracias a la combinación de datos cronológicos (edad) y microquímicos (análisis de isótopos estables) de los otolitos (Herzka, 2005; Kalish, 1991; Rowell et al., 2008; Shephard et al., 2007). Los otolitos son estructuras de carbonato de calcio que crecen de manera concéntrica en forma de cristales de aragonita y se encuentran en el oído interno de los peces (Carlström, 1963; Martínez-Pérez et al., 2018; Mascareñas-Osorio et al., 2003; Tuset et al., 2008). El proceso de formación de los otolitos comienza durante la etapa larvaria con la creación del núcleo y, posterior a la eclosión inicia la deposición cíclica de carbonato de calcio dando como resultado la formación de anillos de crecimiento (Lombarte & Lleonart, 1993; Mascareñas-Osorio et al., 2003; Morales-Nin, 2000). El margen representa la última etapa del crecimiento del pez antes de ser capturado, el cual puede ser juvenil o adulto.

La deposición de carbonato de calcio en los otolitos está regulada por el metabolismo de los peces y se ve afectado por factores exógenos como las fluctuaciones en la temperatura ambiental, la salinidad, la disponibilidad de alimento y el crecimiento (Morales-Nin, 2000). Lo anterior repercute en la composición microquímica de los otolitos, especialmente en la cantidad de isótopos estables (Campana, 1999; Elsdon & Gillanders, 2002; Lombarte & Lleonart, 1993; Morales-Nin, 2000). La composición isotópica de oxígeno $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato de calcio del

otolito es similar a la composición del $\delta^{18}\text{O}$ del agua $\delta^{18}\text{O}_w$, en la que habitaron los peces al momento de su deposición (Kalish, 1991; Thorrold et al., 1997; Campana, 1999). Al no existir un efecto metabólico sobre la deposición de este isótopo, su análisis permite inferir de manera directa sobre las condiciones ambientales en las que se desarrollaron los peces en cada estadio de vida, lo cual proporciona información valiosa en la determinación de la dinámica y estructura poblacional de las especies (Sheaves et al., 2015).

El pargo mancha *Lutjanus guttatus* es una de las especies de peces óseos de interés comercial más importantes en las pesquerías artesanales de Costa Rica (Farías-Tafolla, 2022; Soto-Rojas et al., 2018; Villalobos-Rojas et al., 2014). En promedio, se captura superior a las 172 toneladas de *L. guttatus* por año, lo cual representa el 37.1% de la captura total anual (INCOPECA, 2022). Se ha evidenciado que *L. guttatus* presenta migraciones ontogénicas, en donde los juveniles utilizan hábitats estuarinos con profundidades entre 1 y 2 m y posteriormente, durante la etapa adulta migran hacia ambientes con profundidades entre 10 y 30 m principalmente en con fondos rocosos (Allen & Robertson, 1994; Rojas, 1996-1997). Aun cuando los juveniles de *L. guttatus* habitan en estuarios o bocas de ríos (Allen & Robertson, 1994; Rojas, 1996-1997), esta especie se considera estuario-independiente (Martínez-Andrade, 2003; Vega, et al., 2015). En Costa Rica, se han encontrado indicios de la existencia de varias zonas de crianza de *L. guttatus* con características ambientales muy similares pero con recursos alimentarios variables (Farías-Tafolla, Capítulo 2). No obstante, al igual que muchas especies de peces con importancia comercial, los datos sobre la historia de vida de *L. guttatus* son escasos e insuficientes, teniendo como consecuencia un vacío en el conocimiento de hábitats esenciales para la población, por lo que se hace necesario conocer este tipo de información.

Dado que en los otolitos se registran las condiciones ambientales al momento del desarrollo larvario, etapa en que los organismos de *L. guttatus* se mantienen en la zona de crianza, y que en el margen de los otolitos se registran las características

ambientales durante la etapa adulta, en este estudio se identificaron las zonas potenciales de crianza y hábitat de los adultos de *L. guttatus* en el Pacífico norte, Pacífico central y Pacífico sur de Costa Rica a partir del análisis del isótopo de oxígeno $\delta^{18}\text{O}$ en otolitos. Esta información es crucial para entender aspectos de la dinámica poblacional de una de las principales especies aprovechada por las pesquerías artesanales de Centro América, y contribuirá al desarrollo de estrategias de manejo efectivas del pargo mancha como recurso pesquero importante en Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los 90 ejemplares de pargo mancha *L. guttatus* fueron recolectados en los desembarques de la flota artesanal en 10 comunidades pesqueras localizadas a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica (Fig. 1). Los muestreos se realizaron durante la época lluviosa del 2018, que comprende los meses de mayo a noviembre.

Área de estudio

Las comunidades pesqueras consideradas en el presente estudio se encuentran agrupadas según región socioeconómica en Pacífico norte (PN), Pacífico central (PC) y Pacífico sur (PS; Fig. 1). Estas regiones del pacífico de Costa Rica presentan características ambientales muy diferentes.

El PN es una zona con características geológicas particulares, ya que está formada por el sistema rocoso más antiguo del país, mismo que deriva en un lecho marino con alta complejidad estructural favoreciendo la formación de arrecifes rocosos y comunidades coralinas (Denyer & Kussmaul, 2012; Quirós-Arias, 2017). Durante la estación seca (diciembre-abril), esta zona está influenciada por un fenómeno de afloramiento o surgencia costera en donde los vientos alisios del norte

empujan las masas de agua superficiales, contribuyendo a que las aguas profundas más frías emerjan hacia la superficie, alcanzando los 15 °C en profundidades entre 20 y 50 m (Jiménez, 2016). Además, el fenómeno de surgencia transporta una gran cantidad de nutrientes, lo cual incrementa la productividad primaria y permite una gran diversidad de organismos (Alfaro & Lizano, 2001; Fiedler, 2002; Brenes et al., 2008; Quirós-Arias 2017).

El PC es una zona estuarina influenciada por el río Tempisque, Barranca y el río Tárcoles que desembocan en el Golfo de Nicoya. El aporte de agua dulce de estos ríos converge con las aguas de origen marino arrastradas por las corrientes (Brenes et al., 2001). Durante la estación seca (diciembre-abril) existe mayor influencia de agua marina, mientras que durante la estación lluviosa (mayo-noviembre) hay mayor aporte de agua dulce, misma que ejercen un impacto significativo en las características de sus aguas (Wolff et al., 1998). Lo anterior permite que esta zona presente una gran riqueza biológica y favorece el desove de especies marinas de alto valor comercial (Fernández-Carvajal, 2013).

Finalmente, el PS se caracteriza por la presencia de dos ecosistemas altamente productivos y que son considerados como áreas de crianza de una gran cantidad de especies marinas comerciales. Por un lado, se encuentran los arrecifes coralinos, ubicados hacia la comunidad de Uvita donde se encuentra el Parque Nacional Marino Ballena (Quesada-Alpízar & Cortés, 2006). Por otro lado, hacia Boca Coronado se encuentra la desembocadura del río Grande de Térraba el cual forma parte del manglar Térraba-Sierpe que es el más grande de Costa Rica, mismo que aporta una gran cantidad de agua dulce y sedimentos (Cordero & Solano, 2000).

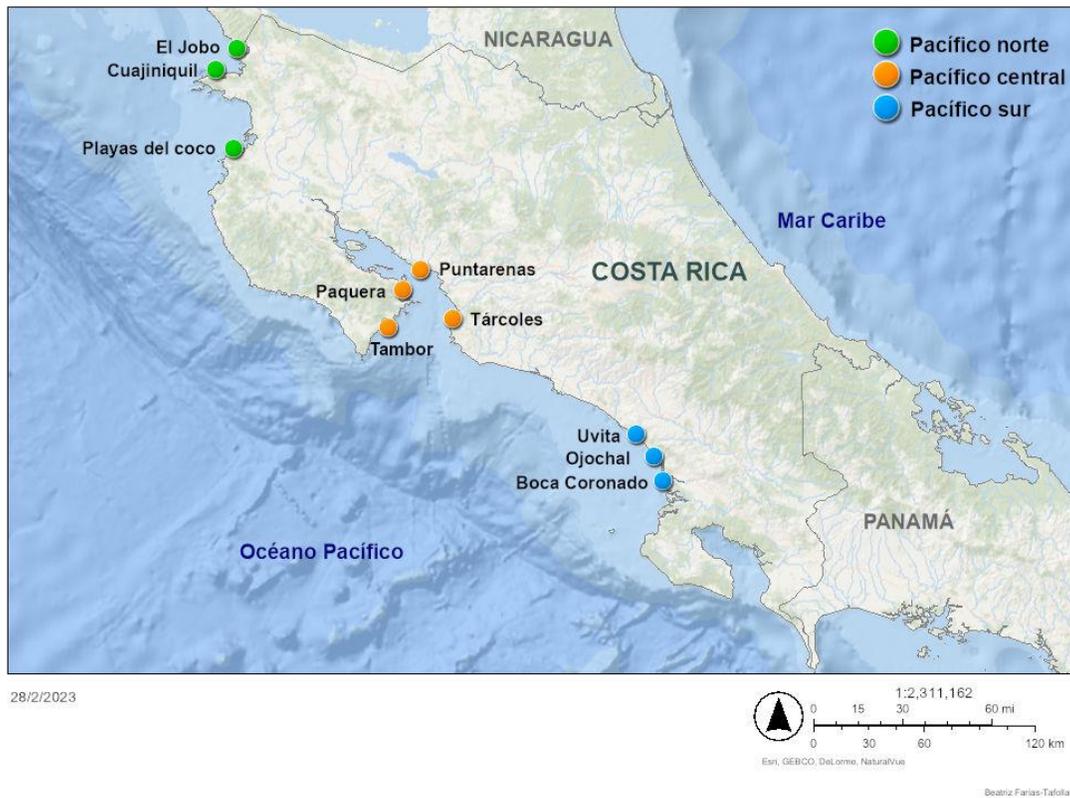


Figura 1. Comunidades pesqueras ubicadas en la costa del Pacífico de Costa Rica en donde se recolectaron las muestras del pargo mancha *Lutjanus guttatus* durante la época lluviosa (mayo - noviembre) del 2018.

Procesamiento de muestras

Para cada uno de los individuos se registró la longitud total (LT, en cm) medida desde el borde anterior de la boca hasta el extremo final de la aleta caudal y el peso total (PT, en gramos). Se extrajeron los otolitos *sagitta* siguiendo la técnica de Martínez-Pérez et al. (2012); posteriormente, fueron limpiados, etiquetados y almacenados en seco hasta su procesamiento en laboratorio.

Una vez en el laboratorio, ambos otolitos fueron embebidos en resina epóxica y seccionados transversalmente a un grosor de 1 mm con una cortadora de baja velocidad con navaja punta diamante (Buehler, ISOMETTM). Los cortes fueron pulidos con papel abrasivo de grano decreciente y alúmina de 0.05 micras, posteriormente se montaron sobre un portaobjetos utilizando Cytoseal 60 de baja viscosidad (Jolivet et al., 2013). Los cortes fueron analizados y fotografiados utilizando microscopía de luz transmitida. Para la determinación de la edad, se utilizó el otolito izquierdo; esto únicamente con el fin de estandarizar las lecturas ya que se ha demostrado que no hay diferencias entre otolitos de un mismo individuo. El conteo de anillos de crecimiento se realizó a partir del núcleo hacia el borde exterior (Fig. 2). A partir de la edad calculada se determinó el año de nacimiento de cada organismo.

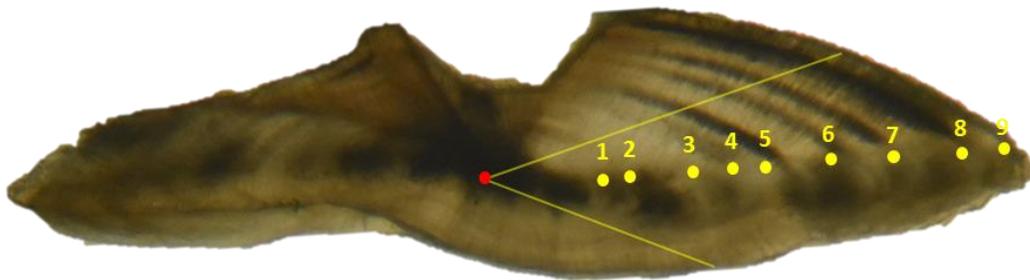


Figura 2. Corte transversal de un otolito del pargo mancha *Lutjanus guttatus*. Los puntos amarillos indican los anillos de crecimiento y la edad estimada.

El carbonato de calcio (CaCO_3) se extrajo del otolito derecho, esto únicamente con el fin de estandarizar el proceso ya que se ha demostrado que la elección del otolito es indiferente. La extracción del CaCO_3 se realizó del núcleo y de los últimos anillos de crecimiento (mayores a los 5 años) correspondientes al

estadio adulto. Para lo anterior se utilizó un micro taladro de alta precisión (ESI New Wave Micromill). Dado que los otolitos de *L. guttatus* son relativamente grandes (15.2 ± 1.0 mm de longitud y 8.3 ± 0.7 mm de altura), para la extracción del CaCO_3 del núcleo, se hizo una perforación de $250 \times 250 \mu\text{m}$ con una profundidad de $250 \mu\text{m}$ y para las muestras del margen de los otolitos se trazó una línea de $800 \mu\text{m}$ de longitud y $130 \mu\text{m}$ de profundidad (Fig. 3). Las submuestras de CaCO_3 fueron pesadas en una micro balanza de alta precisión (Sartorius ME36S) hasta alcanzar entre 40 y $70 \mu\text{g}$.

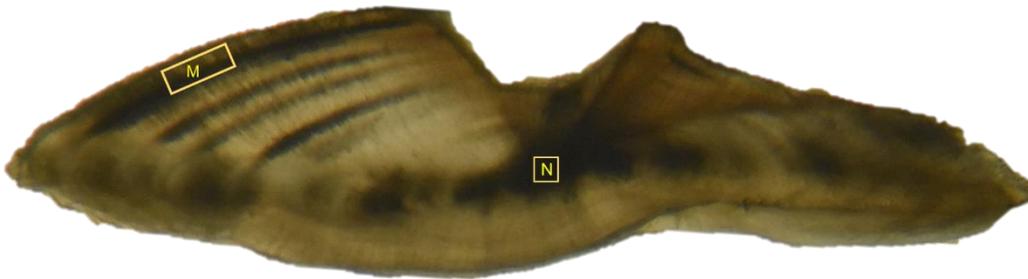


Figura 3. Zonas de extracción de Carbonato de Calcio en el núcleo (N) y margen (M) de los otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus*.

La medición del $\delta^{18}\text{O}$ se realizó con un espectrómetro de masas en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Arizona, Estados Unidos de América. Adicional a la medición de $\delta^{18}\text{O}$, por protocolo se obtuvo la medición del isótopo de carbono $\delta^{13}\text{C}$. Los valores isotópicos de los otolitos tuvieron una precisión (desviación estándar) de 0.10 para $\delta^{18}\text{O}$ y de 0.08 para $\delta^{13}\text{C}$. Aproximadamente del 20 al 30% del CaCO_3 del otolito se deriva de fuentes metabólicas y el porcentaje

restante proviene del carbono inorgánico disuelto en el agua (Campana, 1999). Si bien, la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ de los otolitos si tiene un efecto metabólico, el análisis conjunto de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ permiten visualizar la variabilidad de los datos, por lo cual fueron considerados en algunos análisis estadísticos. Las razones isotópicas se reportan con la notación delta (δ) relativo al estándar internacional Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB):

$$\delta (\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} - 1 \right) * 1000$$

en donde R es la abundancia de la relación entre isótopos pesados y ligeros para la muestra o el estándar.

Temperatura superficial del mar (TSM) y salinidad

Para inferir sobre las condiciones ambientales bajo las cuales estuvieron los peces durante los diferentes estadios de su ciclo de vida, se obtuvo información base sobre el promedio anual de la temperatura superficial del mar (TSM, en décimas de grados Celsius) y la salinidad (en unidades prácticas de salinidad, PSU) a través del Módulo de Información Oceanográfica (MIO) del CIMAR de la Universidad de Costa Rica. Las estimaciones de la TSM están disponibles en alta resolución (1 km² aproximadamente) y fueron recopiladas para un periodo de 1998 al 2018. Las salinidades fueron recopiladas para el mismo periodo de tiempo y fueron complementadas con datos obtenidos de informes y publicaciones derivados de mediciones *in situ*.

Composición isotópica del agua de mar (δ_w) y temperatura retrocalculada

Con los datos de salinidad obtenidos del MIO-CIMAR, se estimó la composición isotópica del agua (δ_w) a partir de la ecuación propuesta por Craig & Gordon (1965):

$$\delta w = -18.5 + 0.54 \text{ Salinidad}$$

donde -18.5 y 0.54 son constantes y *Salinidad* es el promedio anual de salinidad.

A partir de la composición isotópica del oxígeno medida en el núcleo de los otolitos ($\delta^{18}\text{O}_{\text{OTO}}$) y de la composición isotópica del agua estimada (δw), se retrocalculó la temperatura a la cual se depositó el CaCO_3 de los otolitos aplicando la ecuación propuesta por Campana (1999):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{OTO}} = \delta w + 3.71 - (0.206) (T \text{ } ^\circ\text{C})$$

donde 3.71 y 0.206 son constantes y T es la temperatura retrocalculada. Los valores predichos del $\delta^{18}\text{O}$ se estimaron con base en el intervalo completo de salinidad y temperaturas regionales anuales.

Análisis estadístico

De todos los valores isotópicos estimados en los otolitos, a partir del método de cuartiles se identificaron los valores atípicos y se excluyeron de los análisis estadísticos (Zar, 1999). Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para probar si los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en los núcleos y márgenes de los otolitos diferían entre las regiones de muestreo. Las temperaturas retrocalculadas se compararon entre regiones usando un ANOVA unidireccional. La composición de $\delta^{18}\text{O}$ medido y calculado se comparó entre regiones usando un ANOVA. Se utilizaron pruebas de Tukey para la comparación por pares. Todos los análisis en este estudio fueron efectuados en el programa estadístico R v.3.6.2 (R Core Team, 2021).

RESULTADOS

Se analizaron los otolitos de 30 individuos de *L. guttatus* de cada zona muestreada. En el PN las tallas de los peces variaron entre los 22.5 y 49.3 cm de LT y el peso entre 150 y 1850 g. En el PC las tallas variaron entre los 27.1 y 52.0 cm y el peso de 350 a 1250 g. Finalmente, en el PS las tallas registradas fueron de 30.0 a 66.5 cm y el peso total de 300 a 2750 g (Tabla 1).

Tabla 1. Información general de los organismos de pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. DE: desviación estándar, N: número de organismos muestreados por zona.

Zona	LT (cm)			Peso (g)			N
	Min-Máx	Promedio	DE	Min-Máx	Promedio	DE	
Pacífico norte	22.5-49.3	34.6	5.9	150-1850	520.9	324.6	30
Pacífico central	27.1-52.0	42.1	5.7	350-1250	882.3	257.4	30
Pacífico sur	30.0-66.5	42.7	9.1	300-2750	993.5	579.4	30

Edad estimada en el pargo mancha L. guttatus.

Los individuos de *L. guttatus* analizados, presentaron edades que van desde los cinco hasta los 20 años. Las edades estimadas para el grupo de peces capturados en el PN variaron de 5 a 15 años, en el PC de 5 a 17 años, y de 6 a 20 años los peces del PS (Fig. 4).

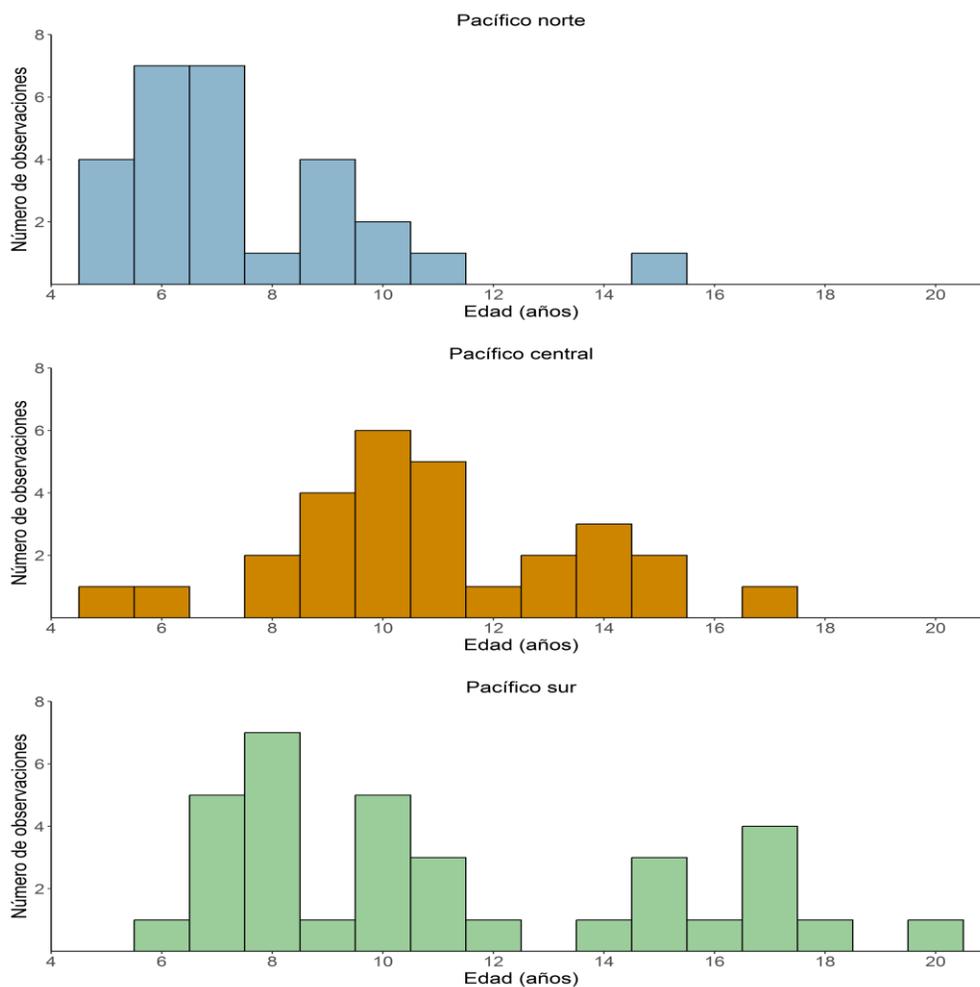


Figura 4. Edades estimadas del pargo mancha *Lutjanus guttatus* capturados en la costa del Pacífico de Costa Rica entre mayo y noviembre del 2018, determinada a través de la lectura de anillos de crecimiento en otolitos (N=90).

Composición isotópica de otolitos

Con base en el análisis de los cuartiles superior e inferior, se identificaron valores atípicos en seis muestras del núcleo, cinco de $\delta^{18}\text{O}$ y uno de $\delta^{13}\text{C}$. Los valores extremos de $\delta^{18}\text{O}$ del núcleo corresponden a tres ejemplares capturados en el PC (0.83, 0.12 y -0.42 ‰) y dos organismos capturados en el PN (2.56 y -2.63 ‰) (Fig. 5A). En los valores de $\delta^{13}\text{C}$ medidos en el núcleo, solo se identificó un valor extremo en los datos del PN (-2.10 ‰; Fig. 5B). Todos los valores extremos fueron excluidos de los análisis puesto que las muestras podrían estar contaminadas.

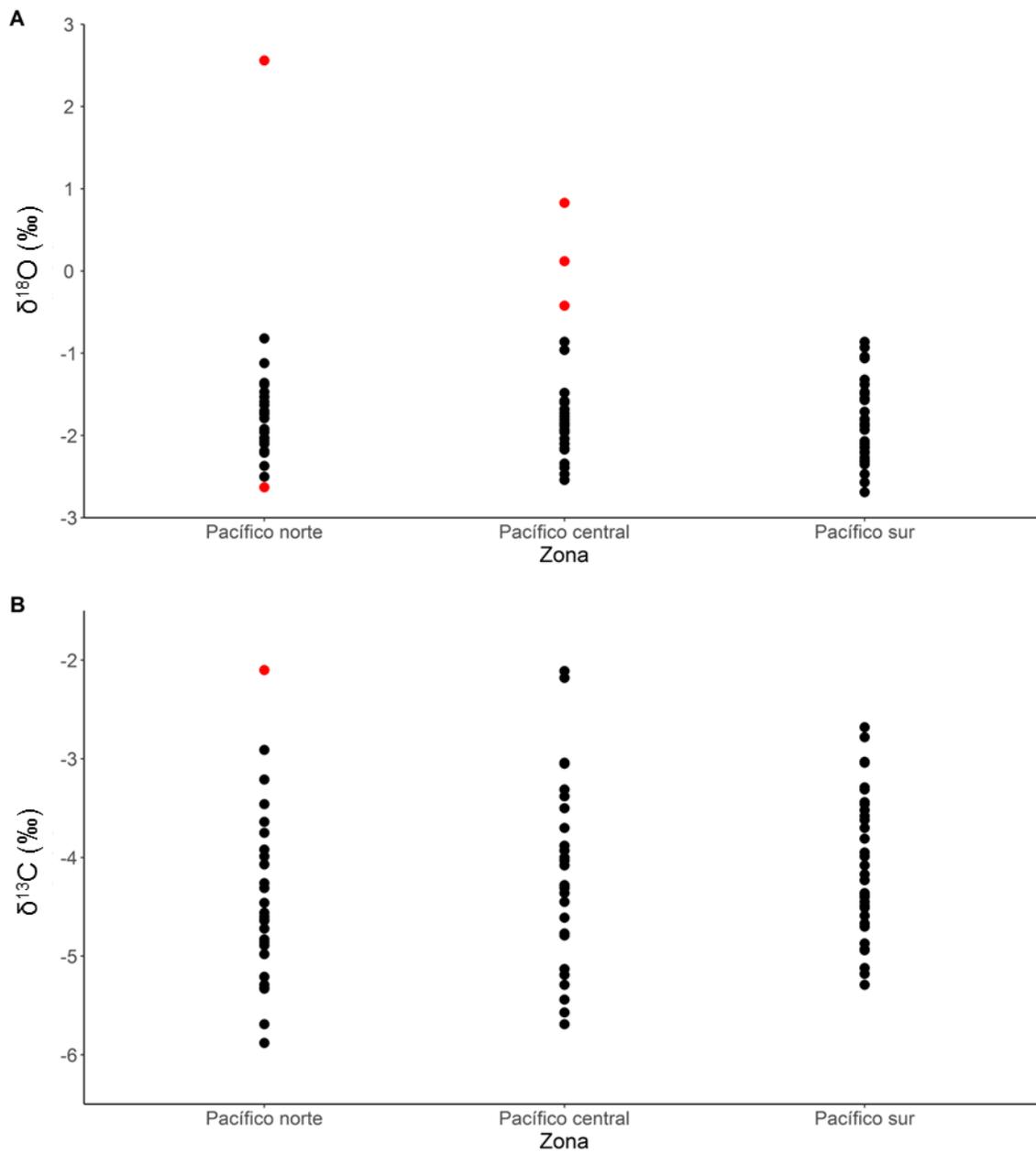


Figura 5. Composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el núcleo de los otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis.

En los datos del margen se identificaron valores atípicos en 13 muestras, 10 de $\delta^{18}\text{O}$ y tres de $\delta^{13}\text{C}$. Los valores extremos de $\delta^{18}\text{O}$ corresponden a cinco ejemplares capturados en el PN (3.09, 3.52, 3.65, 2.13 y 1.96 ‰), tres organismos capturados en el PC (1.46, 1.77 y 1.56 ‰), y dos ejemplares del PS (2.80 y -2.01 ‰) (Fig. 6A). Los tres valores extremos de $\delta^{13}\text{C}$ identificados en el margen corresponden al Pacífico norte (-4.13, -0.16 y -0.39 ‰; Fig. 6B). Todos los valores extremos fueron excluidos de los análisis puesto que las muestras podrían estar contaminadas.

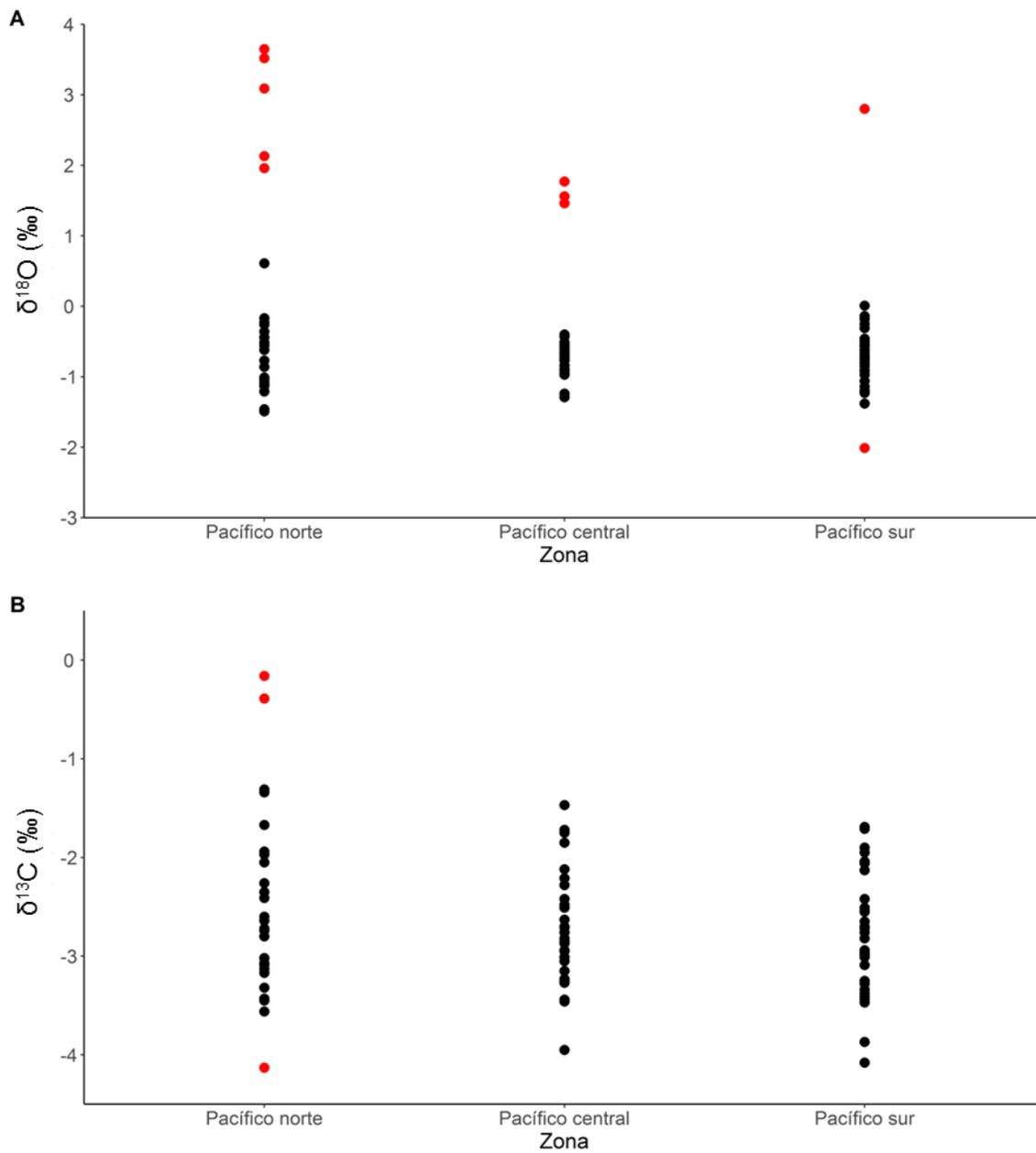


Figura 6. Composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}$ (B) medida en el margen de los otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* (N=90) recolectados entre mayo y noviembre del 2018 en la costa del Pacífico de Costa Rica. Los puntos rojos indican puntos extremos que fueron excluidos del análisis estadístico.

El valor promedio del $\delta^{18}\text{O}$ medido en el núcleo de los otolitos fue -1.83 ± 0.41 ‰ en el PN (media \pm desviación estándar; intervalo: -2.63 a -0.82 ‰), -1.88 ± 0.40 ‰ en el PC (intervalo: -2.54 a 0.86 ‰) y -1.84 ± 0.48 ‰ en el PS (intervalo: -2.69 a -0.86 ‰). El valor promedio de $\delta^{13}\text{C}$ medido en el núcleo fue -4.53 ± 0.74 ‰ en el PN (intervalo: -5.88 a -2.91 ‰), -4.16 ± 0.95 ‰ en el PC (intervalo: -5.69 a -2.11 ‰) y -4.09 ± 0.71 ‰ en el PS (intervalo: -5.29 a -2.68 ‰) (Fig. 7A).

El valor promedio de $\delta^{18}\text{O}$ medido en el margen de los otolitos fue -0.68 ± 0.48 ‰ en el PN (intervalo: -1.49 a 0.61 ‰), -0.76 ± 0.22 ‰ en el PC (intervalo: -1.29 a -0.40 ‰) y -0.77 ± 0.41 ‰ en el PS (intervalo: -2.01 a 0.01 ‰). El valor promedio de $\delta^{13}\text{C}$ medido en el margen fue -2.83 ± 0.63 ‰ en el PN (intervalo: -4.13 a -1.34 ‰), -2.82 ± 0.51 ‰ en el PC (intervalo: -3.95 a -1.75 ‰) y -2.84 ± 0.57 ‰ en el PS (intervalo: -4.08 a -1.71 ‰) (Fig. 7B).

La razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ medida en los márgenes de los otolitos no fue significativamente distinta entre las zonas de captura ($F=0.26$, $p>0.05$ y $F=0.08$, $p>0.05$). Por otro lado, se ha demostrado que la razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ medida en los núcleos de los otolitos no presentó diferencias significativas entre las zonas de captura ($F=0.09$, $p>0.05$), pero la razón isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ si presentó dichas diferencias ($F=2.53$, $p<0.05$) entre el PN con respecto al PC y PS (95%, $p<0.05$). Por lo anterior los análisis se realizaron considerando las regiones de muestreo.

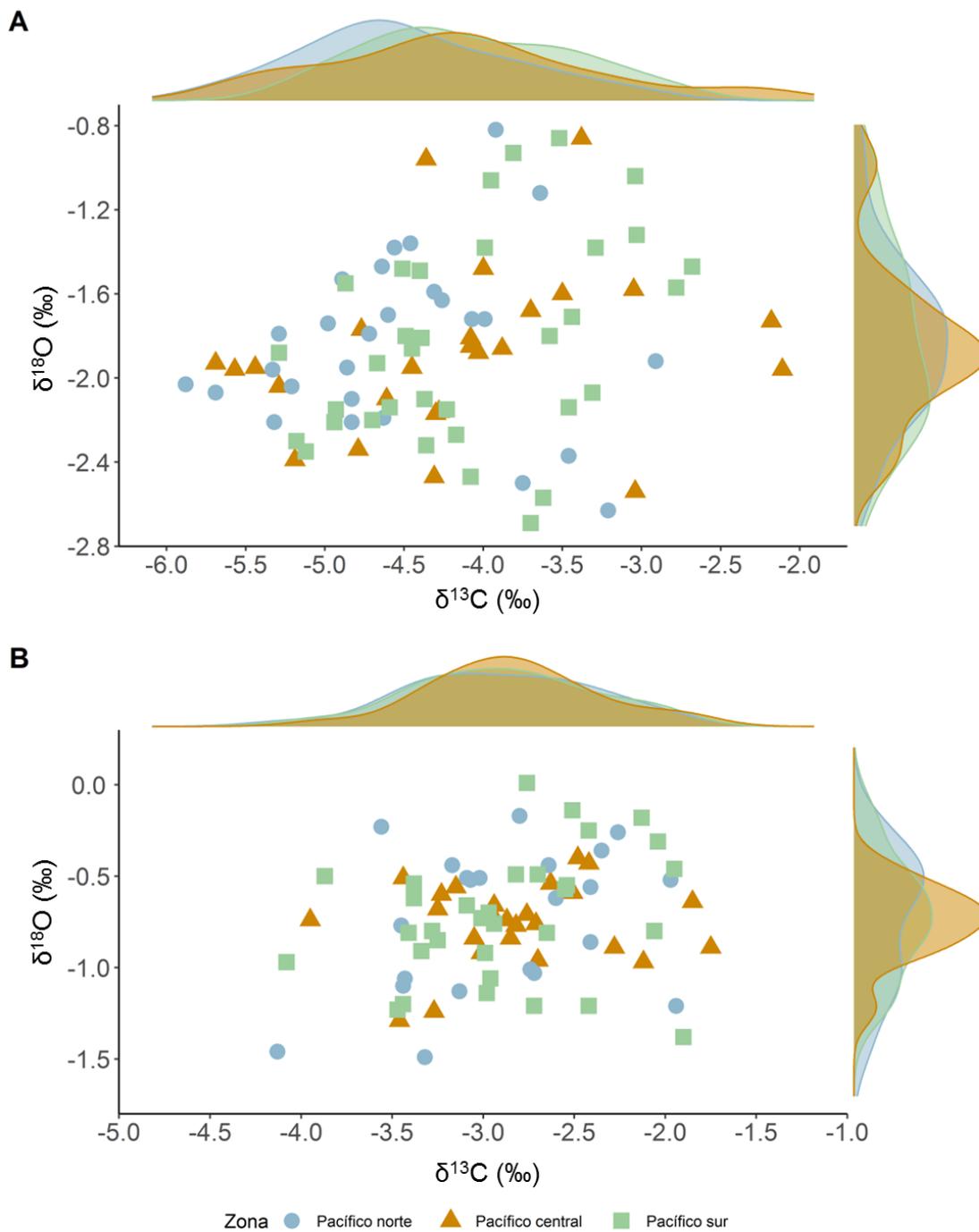


Figura 7. Relación isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ medida en (A) el núcleo (N=84) y (B) el margen (N=77) de otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* entre mayo y noviembre del 2018, de acuerdo con la zona de captura.

Temperatura superficial del mar, salinidad y composición isotópica del agua (δw)

Las edades estimadas en los otolitos de pargo mancha analizados variaron desde 5 hasta los 20 años, por lo que se obtuvieron los datos regionales del promedio anual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y salinidad entre los años 1998 y 2014, con el fin de obtener los registros ambientales del año en que se formó el núcleo de cada individuo analizado.

Los valores promedio de TSM entre los años 1998 y 2014 variaron entre regiones. Las temperaturas más bajas se registraron en el PN con valores de 27.2 hasta los 28.0 °C, seguidos por el PC entre 28.7 y 29.6 °C, y finalmente en el PS se presentaron las temperaturas superficiales del mar más altas con valores entre 29.8 y 30.6 °C (Tabla 2). Los valores promedio de salinidad entre los años 1998 y 2014 se mantuvieron ligeramente más altos en el PN entre 33.6 y 34.2 PSU, con valores más similares entre el PC y PS de Costa Rica con valores de 33.4 a 33.7 PSU y de 33.1 a 33.5 PSU, respectivamente (Tabla 2).

Considerando que existe una relación lineal entre la salinidad y la composición isotópica del agua (δw), el valor calculado de δw entre los años 1998 y 2014 fluctuó entre los -0.36 y -0.03 ‰ en el PN, entre -0.46 a -0.30 ‰ en el PC y entre -0.63 a -0.41 ‰ en el PS (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio de temperatura superficial del mar (TSM), salinidad y composición isotópica del agua calculada (δw) para el Pacífico norte (PN), Pacífico central (PC) y Pacífico sur (PS) de Costa Rica de los años 1998 al 2014.

Año	TSM (°C)			Salinidad (PSU)			δw (‰)		
	PN	PC	PS	PN	PC	PS	PN	PC	PS
1998	27.8	29.4	30.5	33.6	33.7	33.5	-0.36	-0.30	-0.41
1999	27.6	28.9	30.1	33.7	33.4	33.4	-0.30	-0.46	-0.46
2000	27.9	29.0	30.4	33.9	33.5	33.5	-0.19	-0.41	-0.41
2001	27.6	29.1	30.2	33.7	33.5	33.4	-0.30	-0.41	-0.46
2002	28.0	29.2	30.2	33.7	33.6	33.1	-0.30	-0.36	-0.63
2003	27.9	29.0	30.0	33.6	33.7	33.4	-0.36	-0.30	-0.46
2004	27.2	29.2	30.3	34.1	33.5	33.2	-0.09	-0.41	-0.57
2005	27.7	29.0	30.2	33.9	33.4	33.3	-0.19	-0.46	-0.52
2006	27.6	28.8	29.9	34.0	33.5	33.1	-0.14	-0.41	-0.63
2007	27.4	28.7	29.8	34.2	33.6	33.1	-0.03	-0.36	-0.63
2008	27.6	28.9	29.9	33.7	33.7	33.5	-0.30	-0.30	-0.41
2009	27.6	29.0	30.1	33.8	33.5	33.1	-0.25	-0.41	-0.63
2010	27.9	28.9	29.8	33.9	33.5	33.3	-0.19	-0.41	-0.52
2011	27.4	28.8	29.9	34.1	33.5	33.3	-0.09	-0.41	-0.52
2012	27.5	29.0	30.1	33.9	33.6	33.5	-0.19	-0.36	-0.41
2013	27.5	29.2	29.9	34.2	33.7	33.4	-0.03	-0.30	-0.46
2014	27.8	29.6	30.6	34.0	33.5	33.5	-0.14	-0.41	-0.41

Por otro lado, los organismos analizados fueron capturados en el año 2018, por lo que se obtuvo el promedio anual de la TSM y salinidad de ese año, con el fin de obtener los registros ambientales del año en que se formó el margen de los otolitos en cada individuo analizado, en el cual se puede hacer inferencia sobre las condiciones ambientales del hábitat de los adultos en peces mayores a 5 años. El valor promedio de TSM y salinidad fue de 27.9 °C y 33.5 PSU en el PN, de 29.2 °C y 33.3 PSU en el PC y de 30.4 °C y 33.2 PSU en el PS. La composición isotópica

promedio del agua (δw) calculada para este año fue de -0.41 ‰, -0.52 ‰ y -0.57 ‰ para el PN, PC y PS respectivamente.

Temperaturas retrocalculadas.

Las temperaturas retrocalculadas derivadas de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{oto}}$ medidos en los núcleos de otolitos de *L. guttatus* oscilaron entre 22 y 29°C en el PN y entre 20 y 29 °C en el PC y PS (Fig. 8); mientras que las temperaturas retrocalculadas de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{oto}}$ medidos en los márgenes oscilaron entre 13 y 23 °C en el PN, entre 17 y 22 °C en el PC y entre 20 y 22 °C en el PS (Fig. 8). Se observaron diferencias significativas entre las temperaturas retrocalculadas del núcleo vs del margen en todas las zonas ($F=397.32$; $p<0.05$). Además, se observaron diferencias significativas en las temperaturas retrocalculadas del núcleo entre zonas de captura ($F=4.78$; $p<0.05$), dichas diferencias fueron entre el PN con respecto al PS (95%, $p<0.05$).

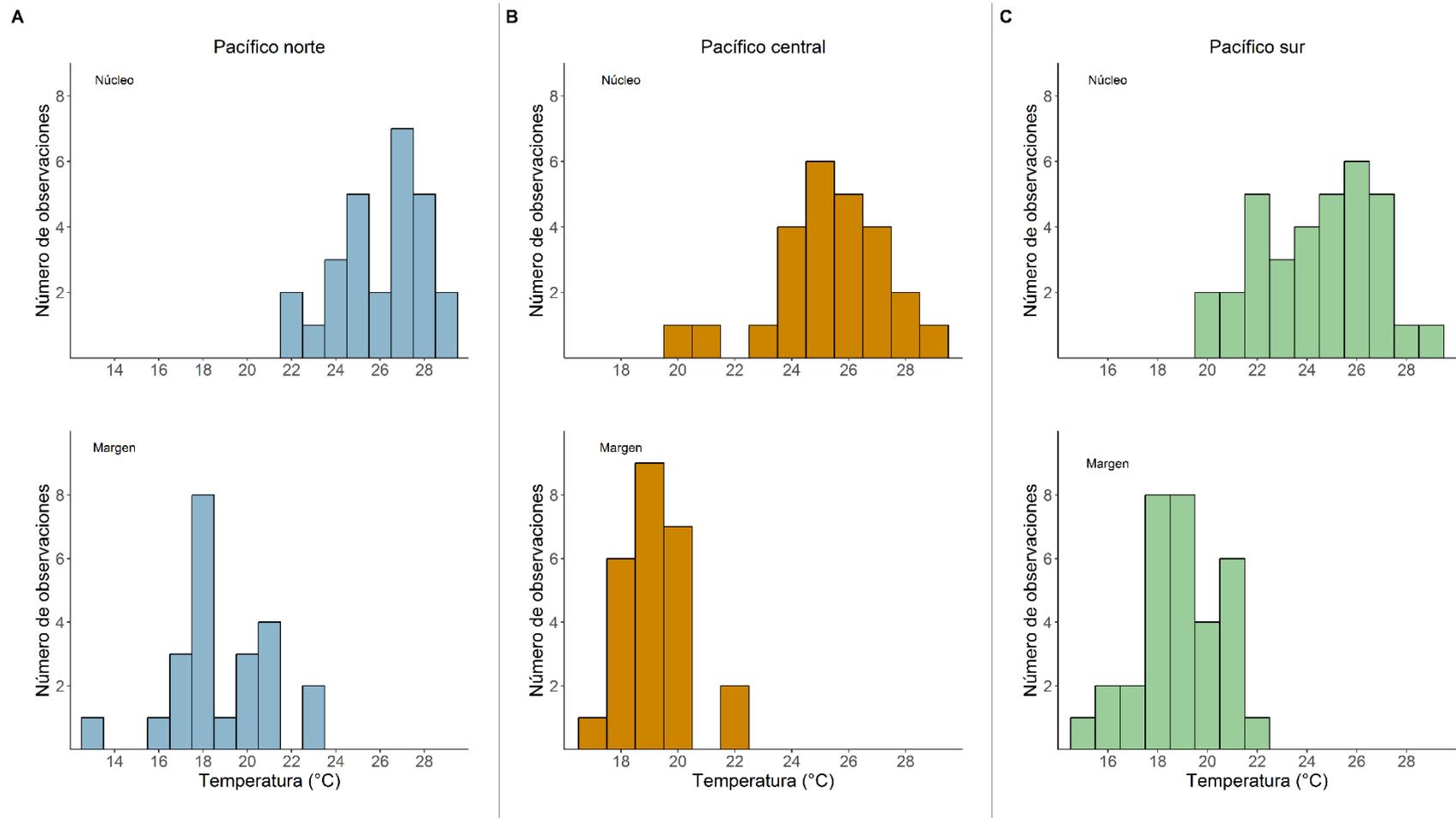


Figura 8. Temperaturas retrocalculadas a partir del $\delta^{18}\text{O}$ del núcleo (N=84) y margen (N=77) de los otolitos de pargo mancha *Lutjanus guttatus*, en el Pacífico norte (A), Pacífico central (B) y Pacífico sur (C) de Costa Rica.

Valores de $\delta^{18}\text{O}$ predichos

La razón isotópica del $\delta^{18}\text{O}$ esperada, considerando las TSM y salinidades regionales, presentó diferencias significativas entre los valores calculados para la región del núcleo y del margen de los otolitos del pargo mancha ($F=13.7$, $p<0.05$). Los valores esperados de $\delta^{18}\text{O}$ para el núcleo variaron entre de -2.40 a -1.98‰ para el PN, de -2.96 a -2.55‰ para el PC y de -3.12 a -2.82‰ para el PS (Fig. 9), sin diferencias significativas entre zonas de captura ($F=543.9$, $p>0.05$).

Así mismo, los valores esperados de la composición isotópica del $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos del margen de los otolitos variaron de -2.56 a -2.46‰ en el PN, de -2.87 a -2.73‰ en el PC y de -3.10 a -2.88‰ en el PS (Fig. 9), sin diferencias significativas entre zonas de captura ($F=858.3$, $p>0.05$).

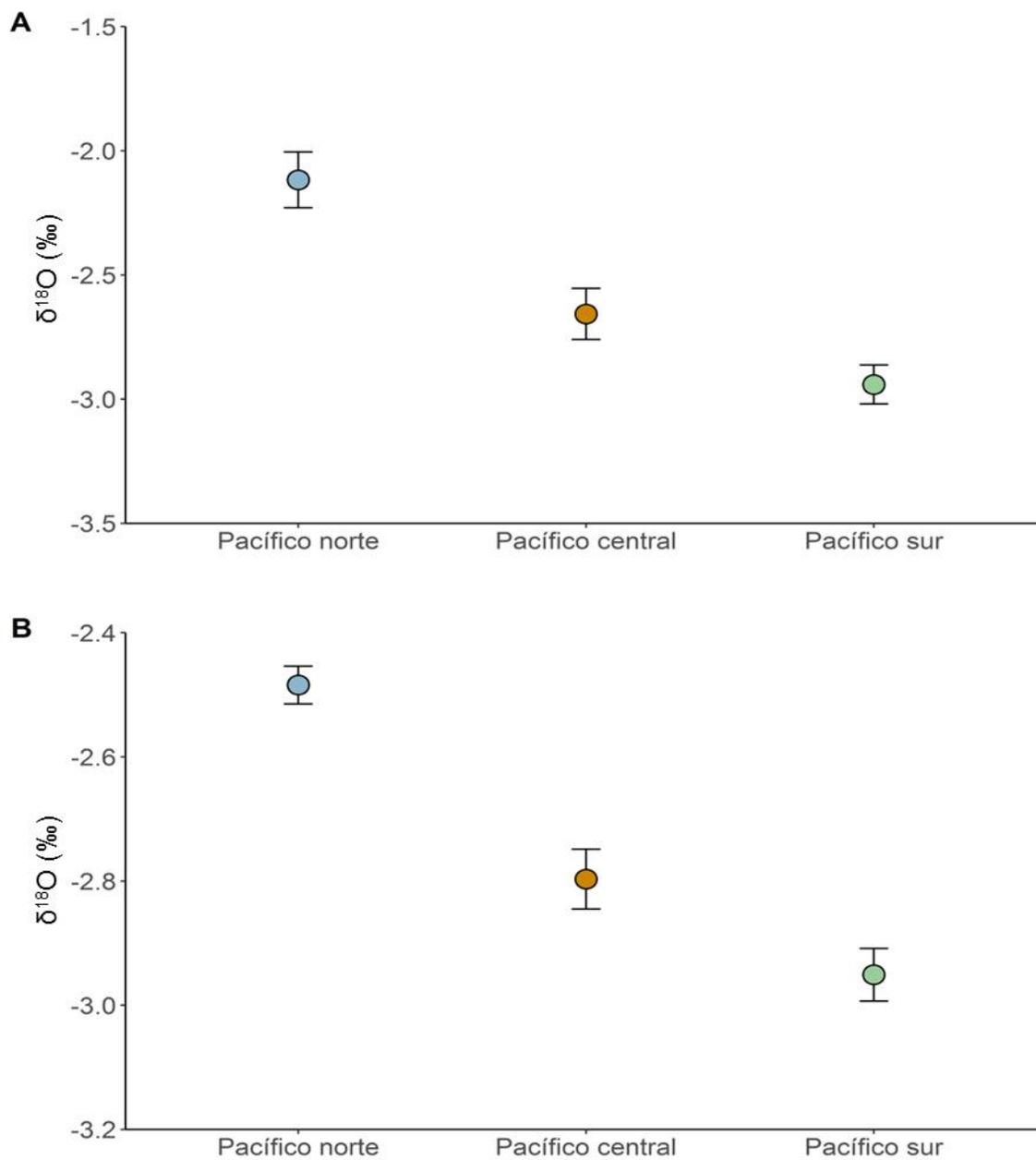


Figura 9. Razón isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ predichas (promedio \pm desviación estándar) en (A) el núcleo (N=84) y (B) margen (N=77) de los otolitos *sagitta* de pargo mancha *Lutjanus guttatus* del Pacífico de Costa Rica.

DISCUSIÓN

Los isótopos estables analizados en la composición de los otolitos permiten conocer las condiciones ambientales en las que se desarrollan los peces en cada estadio de su ciclo de vida (Rowell et al., 2008; Shephard et al., 2007). Lo anterior debido a la naturaleza de la formación de los otolitos ya que el carbonato de calcio que los conforman se ve influenciado por factores exógenos lo cual se refleja en su composición (Campana, 1999; Elsdon & Gillanders, 2002; Lombarte & Lleonart, 1993; Morales-Nin, 2000). En este sentido el análisis de isótopos estables se presenta como una herramienta novedosa para identificar hábitats esenciales, ya que esta metodología se ha utilizado exitosamente en varias especies (Hane et al., 2022; Hoie et al., 2004; Jones et al., 2009). A través del análisis de isótopos estables en los núcleos y margen de los otolitos de *L. guttatus*, el presente estudio permitió conocer las características de los hábitats esenciales utilizados por la especie durante el estadio larvario (zonas de crianza; análisis del núcleo) y la etapa adulta (análisis del margen) a lo largo del Pacífico de Costa Rica.

El proceso de formación de los otolitos comienza con la secreción de una matriz orgánica posteriormente hay una deposición cíclica de una capa de cristales de carbonato de calcio y metales traza, seguida de una deposición de otolina. Dichas deposiciones ocurren a partir del primer día de vida y a lo largo de la vida del pez formando anillos concéntricos (Martínez-Pérez et al., 2018). Para todos los análisis presentados en esta sección, se definió como zonas de crianza al hábitat donde se desarrollan los peces durante los primeros días de vida (juveniles) y se utilizaron los datos obtenidos del núcleo de los otolitos, suponiendo que los organismos de *L. guttatus* se mantienen en la zona de crianza después de la etapa larvaria; por otro lado, se definió como hábitat de los adultos al sitio donde se desarrollan los peces durante la fase adulta, generalmente en los últimos años de vida de cada individuo y se utilizaron los datos obtenidos del margen de los otolitos. Los parámetros antes mencionados se han utilizado en múltiples estudios similares (Gao et al., 2004; Niklitschek et al., 2018).

Se ha demostrado que los organismos juveniles y adultos de *L. guttatus* habitan ambientes diferentes (Farías-Tafolla, Capítulo 2). La similitud entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en los núcleos de los otolitos sugieren que los individuos de *L. guttatus* se criaron en condiciones de TSM y salinidad similares sin una clara discriminación entre regiones. Así mismo, la similitud entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en los márgenes de los otolitos sugieren que el hábitat de los adultos presenta condiciones ambientales parecidas entre regiones. Sin embargo, al presentarse diferencias en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en los núcleos con respecto a los márgenes, se confirma que el hábitat de crianza es diferente al hábitat donde se desarrollan los adultos, aun cuando no hay una clara diferenciación regional.

En el presente estudio se determinó que las zonas de crianza donde habitan los organismos juveniles a lo largo del Pacífico de Costa Rica presentan un amplio rango de temperaturas retrocalculadas que oscilan entre los 20 y 29 °C, sin embargo, la temperatura retrocalculada promedio difirió significativamente entre el Pacífico norte y sur. Esto probablemente refleja la gradiente de temperatura latitudinal que se observa en los valores de temperatura superficial del mar obtenidos del procesamiento de imágenes satelitales por el MIO-CIMAR en el cual el Pacífico norte presenta una temperatura promedio más baja y el Pacífico sur una temperatura promedio más cálida. Lo anterior se debe principalmente a que el Pacífico norte del país esta influenciado por factores oceanográficos particulares, tales como el fenómeno de surgencia costera en el cual los vientos alisios del norte empujan las masas de agua superficiales, contribuyendo a que las aguas profundas más frías emerjan hacia la superficie, presentando cambios de hasta 10°C en un día (Alfaro & Lizano, 2001; Ballesteros 2006; Brenes et al., 2008; Fiedler, 2002; Quirós-Arias, 2017).

Cabe mencionar que los datos de TSM se obtiene a partir de los primeros 20 m de profundidad. Lo anterior sugiere que las zonas de crianza se encuentran en sitios someros cercanos a la costa. Algunos estudios muestran que *L. guttatus*, así como otras especies de Lutjánidos utilizan aguas costeras de poca profundidad

durante las primeras etapas de su vida (Allen & Robertson, 1994; Rojas, 1996-1997). En múltiples ocasiones se ha reportado juveniles de esta especie en ecosistemas costeros como arrecifes (González-Rivera et al., 2022; Salas et al., 2015; Vega et al., 2016), lagunas costeras (Cabrera-Paez et al., 2020; González-Sansón & Aguilar-Betancourt, 2013; Tapia-García et al., 1998) bahías (Espinoza et al., 2022; Farías-Tafolla et al., 2022), manglares (Henríquez, 2019; Vega et al., 2015) y estuarios o bocas de ríos (Allen & Robertson, 1994; Rojas, 1996-1997). Estos ambientes al ser altamente estructurados permiten el asentamiento de larvas y desarrollo de juveniles de *L. guttatus* al brindarles protección y alimentación.

Los valores de salinidad obtenidos a través del MIO-CIMAR reflejan un gradiente latitudinal, donde las aguas con mayor salinidad se encuentran en el Pacífico norte y las de menor salinidad en el Pacífico sur. En el Pacífico norte de Costa Rica hay una gran cantidad de arrecifes rocosos que eventualmente podrían fungir como zonas de crianza (Fiedler, 2002). Por otro lado, el Pacífico central se encuentra influenciado por tres grandes ríos que proporcionan una gran cantidad de agua dulce (reduciendo la salinidad), siendo esta zona estuarina favorable para el desarrollo de *L. guttatus* (Wolff et al., 1998). Finalmente, en el Pacífico sur se presenta el manglar Térraba-Sierpe el cuál es el más grande del país y los ríos que lo alimentan proporcionan una gran cantidad de agua dulce, creando un ambiente favorable como zona de crianza (Cordero & Solano, 2000).

Por otro lado, en el presente estudio se determinó que el hábitat de los organismos adultos capturados en el Pacífico norte presenta temperaturas que oscilan entre los 13 y 23 °C; en el Pacífico central oscilan entre 17 y 22 °C y en el Pacífico sur entre 15 y 22 °C. Estos valores son significativamente diferentes a los observados en las zonas de crianza. Los valores de TSM obtenidos para el 2018 están por encima de las temperaturas retrocalculadas, lo cual sugiere que los adultos de *L. guttatus* se encuentran en sitios más profundos (>20 m) y más alejados de la costa. En este sentido, existen múltiples estudios que respaldan la presencia de esta especie en arrecifes rocosos de hasta 60m de profundidad (Correa-Herrera

& Jiménez-Segura, 2013; López-García, 2013; Rojas et al., 2004). El Pacífico norte de Costa Rica presenta profundidades de más de 300 m (Jiménez, 2016), el Pacífico central presenta profundidades de hasta 140 m (Brenes et al., 2001) y el Pacífico sur de hasta 250 m (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2012). Algunos estudios han demostrado que la temperatura del mar alcanza los 15 °C a los 50 m en el Pacífico norte (Jiménez, 2016) y entre los 55 y 60 m en el resto del Pacífico de Costa Rica (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2012; Brenes et al., 2001; Brenes et al., 2012). Por lo anterior, es posible que organismos adultos de *L. guttatus* se encuentren habitando en ambientes con dicha temperatura dentro de las zonas analizadas.

Las temperaturas del mar bajas están relacionadas con la profundidad principalmente; sin embargo, dado el efecto de surgencia que afecta el Pacífico norte del país, el cuál transporta una gran cantidad de nutrientes incrementando la productividad primaria (Alfaro & Lizano, 2001; Brenes et al., 2008; Fiedler, 2002; Quirós-Arias, 2017), es posible que algunos organismos adultos de *L. guttatus* se trasladen a esta zona. Durante este fenómeno, las temperaturas bajan hasta los 15 °C entre los 20 y 50 m (Jiménez, 2016), profundidades relativamente bajas y que fácilmente podrían ser hábitat de los adultos de *L. guttatus*.

Entender cómo una especie utiliza hábitats esenciales a lo largo de su vida es fundamental para asegurar la viabilidad de la población al comprender su dinámica. En especies con alto valor comercial la caracterización de estos hábitats contribuye al desarrollo de estrategias de manejo efectivas (García-Hernández & Ordoñez-López, 2007). El conocimiento de las zonas de crianza permite generar planes pesqueros que faciliten el éxito reproductivo y el desarrollo de los primeros estadios de crecimiento con el fin de mantener estable la población en explotación a lo largo del tiempo. Por otro lado, el conocimiento del hábitat de los adultos permite generar regulaciones pesqueras regionales que favorezcan a los potenciales reproductores de una especie dada (Dávalos-Navarro & Caballero-Vázquez, 2019).

El análisis de isótopos estables se presenta como una herramienta novedosa y confiable para identificar hábitats esenciales (Herzka, 2005; Kalish, 1991; Rowell et al., 2008; Shephard et al., 2007). En este estudio se identificaron las condiciones ambientales de las zonas potenciales de crianza y hábitat de los adultos de *L. guttatus* de la costa del Pacífico de Costa Rica, con el fin de entender la dinámica de su población. Se espera que esta información contribuya al desarrollo de estrategias de manejo efectivas del pargo mancha como recurso pesquero importante en Costa Rica.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por el Sistema de Estudios de Posgrado (SEP) y el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica (UCR). Así como, por el Laboratorio de Ecología Pesquera del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y del Módulo de Información Oceanográfica (MIO) del CIMAR. Los autores agradecen a los pescadores artesanales del Pacífico de Costa Rica por su apoyo y colaboración.

LITERATURA CITADA

- Alfaro, E. J., & Lizano, O. G. (2001). Algunas relaciones entre las zonas de surgencia del Pacífico Centroamericano y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Revista de Biología Tropical*, 49 (2), 185-193.
- Allen, G. R., & Robertson, D. R. (1994). *Fishes of the tropical Eastern Pacific*. University of Hawaii Press. Honolulu, Hawaii. 332 pp.
- Ballesteros, D. (2006). Capítulo VI, El Domo térmico de Costa Rica. En: V. Nielsen-Muñoz & M. Quesada-Alpizar (Eds.), *Ambientes Marino Costeros de Costa Rica* (69-85 p.). Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona

- Económica Exclusiva de Costa Rica, Informe Técnico. CIMAR, CI, TNC. San José, Costa Rica.
- Beck, M. W., Heck, Jr. K. L., Able, K. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., Halpern, B., Hays, C. G.; Hoshino, K., Minello, T. J., Orth, R. J., Sheridan, P. F., & Weinstein, M. P. (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience*, 51 (8), 633-641.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (Cuarta ed.). Blackwell Publishing. London, United Kingdom. 714 p.
- Brenes, C. L., Lavín, M. F., & Mascarenhas, A. S. (2008). Geostrophic circulation between the Costa Rica Dome and Central America. *Deep-Sea Research I*, 55, 608-629.
- Brenes, C. L., León, S., & Chaves, J. (2001). Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49 (2), 145-152.
- Brenes, C. L., Márquez, A., Quirós, W., & Benavides, R. (2012). Rasgos hidrográficos y batimétricos del Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional y áreas adyacentes, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 4, 145-156.
- BIOMARCC-SINAC-GIZ. (2012). *Estudios científicos de hábitat marino costero y situación socioeconómica del Pacífico sur de Costa Rica*. San José, Costa Rica. 99 p.
- Cabrera-Paez, Y., Aguilar-Betancourt, C. M., & González-Sansón, G. (2020). Influencia del sustrato en la composición de la ictiofauna en zonas someras de la laguna costera Barra de Navidad, México. *Revista de Biología Tropical*, 68 (4), 1322-1336.
- Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otolith: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263-297.

- Carlström, D. (1963). A crystallographic study of vertebrate otoliths. *Biological Bulletin*, 125, 441-463.
- Cordero, P., & Solano, F. (2000). El manglar más grande de Costa Rica: experiencias de la UICN en el proyecto DANIDA- Manglares de Térraba-Sierpe. UICN. San José, Costa Rica. 40 p.
- Correa-Herrera, T., & Jiménez-Segura, L. F. (2013). Biología reproductiva de *Lutjanus guttatus* (Perciformes: Lutjanidae) en el parque nacional natural Utría, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 61 (2), 829-840.
- Cowen, R. K., & Sponaugle, S. (2009). Larval dispersal and marine population connectivity. *Annual review of Marine Science*, 1, 443-466.
- Craig, H., & Gordon, L. (1965). *Proceedings of the conference on stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures, chapter deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere*. Lischi and Figli. Spoleto, Italy. 130 p.
- Dahlgren, C. P., Kellinson, G. T., Adams, A. J., Gillanders, B. M., Kendall, M. S., Layman, C. A., Ley, J. A., Nagelkerken, I., & Serafy, J. E. (2006). Marine nurseries and effective juvenile habitats: concepts and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 312, 291-295.
- Dávalos-Navarro, T., & Caballero-Vázquez, J. A. (2019). Ecología y conectividad de los peces en ecosistemas costeros del Caribe mexicano. En E. Rivera-Arriaga, P. Sánchez-Gil & J. Gutiérrez (Eds.), *Tópicos de agenda para la sostenibilidad de costas y mares mexicanos* (41-52 p.). Universidad Autónoma de Campeche. RICOMAR. Campeche, México.
- Denyer, P., & Kussmaul, S. (2012). *Geología de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 515 p.
- Elsdon, T. S., & Gillanders, B. M. (2002). Interactive effects of temperature and salinity on otolith chemistry: challenges for determining environmental histories of fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, 1796–1808.

- Espinoza, M., Arias-Zumbado, F., Chaves-Zamora, I., & Farías-Tafolla, B. (2022). Comparación de cuatro métodos para contar peces en una bahía tropical: el caso del Área Marina de Manejo Bahía Santa Elena en el Pacífico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 70 (1), 235-249.
- Farías-Tafolla, B., Arias-Zumbado, F., Chaves-Zamora, I., Alvarado-Ruiz, C., & Espinoza, M. (2022). Dinámica espacio-temporal de la pesquería artesanal en el Golfo de Santa Elena, Pacífico Norte de Costa Rica (2010-2019). *Revista de Biología Tropical*, 70 (1), 557-575.
- Fernández-Carvajal, D. (2013). Pesca artesanal y pobreza en comunidades aledañas al Golfo de Nicoya. *Revista de Ciencias Sociales*, 140, 137-152.
- Fiedler, P.C. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Research I*, 49, 321-338.
- Gao, Y., Joner, S. H., Svec, R. A., & Weinberg, K. L. (2004). Stable isotopic comparison in otoliths of juvenile sablefish (*Anoplopoma fimbria*) from waters off the Washington and Oregon coast. *Fisheries Research*, 68 (1-3), 351-360.
- García-Hernández, V. D., & Ordoñez-López, U. (2007). ¿Son las praderas de *Thalassia testudinum* un hábitat esencial para peces juveniles de importancia comercial?. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 58, 35-40.
- González-Rivera, D., Mariel-Portillo, F., & Baca-Rodríguez, L. (2022). Primera fase para el incremento de ictiofauna en el Golfo de Fonseca utilizando arrecifes artificiales. *Universidad y Sociedad*, 14 (6), 530-540.
- González-Sansón, G., & Aguilar-Betancourt, C. (2013). Peces de la laguna costera Barra de Navidad. En E. Godínez-Domínguez, & M. del C. Franco-Gordo (Eds.). *Inventario de biodiversidad de la costa sur de Jalisco y Colima*. (91-105 p.). Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Hane, Y., Ushikubo, T., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., & Kimura, S. (2022). Natal origin of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* determined by SIMS oxygen isotope analysis of otoliths. *PLoS ONE*, 17 (8), 1-21.

- Henríquez, A. F. (2019). Organizaciones de pesca artesanal del Golfo Dulce trabajan en la conservación del manglar como una fuente alternativa de ingresos. *Ambientico*, 27 (1), 40-46.
- Herzka, S. Z. (2005). Assessing connectivity of estuarine fishes based on stable isotope ratio analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64, 58-69.
- Hoie, H., Otterlei, E., & Folkvord, A. (2004). Temperature-dependent fractionation of stable oxygen isotopes in otoliths of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 61, 243-251.
- INCOPESCA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). (2022). *Información de producción nacional pesquera anual*. Recuperado el Abril de 2022, de Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura: <https://www.incopesca.go.cr/publicaciones/estadisticas/historico/2016.html>
- Jiménez, J. A. (2016). *El Domo térmico de Costa Rica: Un oasis de productividad frente a las costas del Pacífico Centroamericano*. Fundación Marviva. San José, Costa Rica. 106 p.
- Jolivet, A., Fablet, R., Bardeau, J. F., & de Pontual, H. (2013). Preparation techniques alter the mineral and organic fractions of fish otoliths: insights using Raman micro-spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405 (14), 4787-4798.
- Jones, J. B., & Campana, S. E. (2009). Stable oxygen isotope reconstruction of ambient temperature during the collapse of a cod (*Gadus morhua*) fishery. *Ecological Applications*, 19 (6), 1500-1514.
- Kalish, J. M. (1991) ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibria in fish otoliths: metabolic and kinetic effects. *Marine Ecology-Progress Series* 75, 191–203.
- Largier, J. L. (2003). Considerations in estimating larval dispersal distances from oceanographic data. *Ecological applications*, 13 (1), 71-89.
- Lombarte, A., & Leonart, A. (1993). Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes*, 37, 297-306.
- López-García, V. J. (2013). Estudio de la variabilidad genética de dos especies de pargo *Lutjanus guttatus* y *Lutjanus argentiventris*, del Pacífico colombiano,

- mediante técnicas moleculares. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Colombia, 107 p.
- Martínez–Andrade, F. (2003). A comparison of life histories and ecological aspects among snappers (Pisces: Lutjanidae). Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 194 p.
- Martínez-Pérez, J. A., Del Moral-Flores, L. F., Chávez-Arteaga, M. M., Tello-Musi, J. L., Santillán-Reyes, C., Ramírez-Villalobos, A. J., De Sucre-Medrano, A. E., & Quintanar-Zuñiga, R. E. (2012). Los otolitos y su importancia como herramienta de identificación de especies de peces óseos. En *Investigaciones ictiológicas en México: Temas selectos en honor al Dr. José Luis Castro Aguirre*. (47-56 p). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Martínez-Pérez, J. A., Morquecho-León, M. R. K., Farías-Tafolla, B., Badillo-Alemán, M., Gallardo-Torres, A., & Chiappa-Carrara, X. (2018). *Catálogo de otolitos sagitta de peces del golfo de México*. UNAM. México. 199 p.
- Mascareñas, O. I., Aburto, O. O., & Balart, F. E. (2003). *Otolitos de peces de arrecife del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. México, 120 p.
- Morales-Nin, B. (2000). Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fisheries Research*, 46, 53-67.
- Niklitschek, E., Garcés, C., & Toledo, P. (2018). *Determinación de unidades poblacionales de anchoveta (Engraulis ringens) en Chile*. Universidad de los Lagos. Chile. 224 p.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (1999). *Essential fish habitat. New marine fish habitat conservation mandate for Federal Agencies*. National Marine Fisheries Service. 14 p.
- Quesada-Alpizar, M. A. & Cortés, J. (2006). Los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica: estado de conocimiento y perspectivas de manejo. *Revista de Biología Tropical*, 54 (1), 101-145.

- Quirós-Arias, L. (2017). Tourism and territory in natural protected areas – the case of Santa Rosa National Park: from national monument to the conservation of the tropical forest, Guanacaste Conservation Area, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1, 91-136.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rojas M, J. R. (1996-1997). Hábitos alimentarios del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44/45 (3/1), 471-476.
- Rojas M, J. R., Maravilla, E., & Chicas, F. (2004). Hábitos alimentarios del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en Los Cóbano y Puerto La Libertad, El Salvador. *Revista de Biología Tropical*, 52 (1), 163-170.
- Rowell, K., True, C., Flessa, K. W., & Dettman, D. L. (2008). Fish without water: validation and application of $\delta^{18}\text{O}$ in *Totoaba macdonaldi* otoliths. *Ciencias Marinas*, 34 (1), 55-68.
- Salas, E., Sánchez-Godínez, C., & Montero-Cordero, A. (2015). Peces marinos de la Reserva Biológica Isla del Caño: Estructura de las comunidades de peces de arrecife y lista taxonómica actualizada de los peces costeros. *Revista de Biología Tropical*, 63 (1), 97-116.
- Sheaves, M., Baker, R., Nagelkerken, I., & Connolly, R. M. (2015). True value of estuarine and coastal nurseries for fish: incorporating complexity and dynamics. *Estuaries and Coasts*, 38, 401-414.
- Shephard, S., Trueman, C., Rosalind, R., & Rogan, E. (2007). Juvenile life history of NE Atlantic orange roughy from otolith stable isotopes. *Deep-Sea Research I*, 54, 1221-1230.
- Soto-Rojas, R. L., Hernández-Noguera, L. A., & Vega-Alpizar, J. L. (2018). Parámetros poblacionales y hábitos alimenticios del pargo mancha (*Lutjanus guttatus*) en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor, Golfo de Nicoya, Costa Rica. *UNICIENCIA*, 32 (2), 96-110.

- Tapia-García, M., Suárez Núñez, C., Cerdaneres, G., de Guevara, L., Macuitl Montes, M. C., & García Abad, M. C. (1998). Composición y distribución de la ictiofauna en la Laguna del Mar Muerto, Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 46 (2), 277-284.
- Thorrold, S. R., Campana, S. E., Jones, C. M., & Swart, P. K. (1997). Factors determining $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ fractionation in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61 (14), 2909-2919.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., & Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, 72 (S1), 7-198.
- Vega, Á. J., Maté, J. L., & Yolani, A. R. P. (2016). Primer reporte de agregaciones de desove para los pargos seda (*Lutjanus peru*) (Nicholson y Murphy, 1992) y mancha (*L. guttatus*) (Steindachner, 1869) en el Parque Nacional Coiba, Pacífico de Panamá. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 68, 112-117.
- Vega, A. J., Robles, Y. A., & Gody, K. (2015). El papel de los manglares como criaderos de pargo (Lutjanidae) en el golfo de Chiriquí. *Tecnociencia*, 17 (2), 109-123.
- Villalobos-Rojas, F., Herrera-Correal, J., Garita-Alvarado, C. A., Clarke, T., & Beita-Jiménez, A. (2014). Actividades pesqueras dependientes de la ictiofauna en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 62 (4), 119-137.
- Wolff, M., Koch, V., Bautista-Chavarría, J., & Vargas, J. A. (1998). A trophic flow model of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 46 (6), 63-79.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. Michigan, E.U.A. 663 p.

CONCLUSIONES GENERALES

Las variaciones demográficas presentadas en la estructura por tallas, relación Longitud total-Peso, la talla media de madurez sexual y las tasas de crecimiento entre los organismos capturados en el Pacífico norte, Pacífico central y Pacífico sur de Costa Rica sugieren la probable existencia de unidades poblacionales diferenciadas.

La composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) presentó variaciones entre el núcleo y el margen de los otolitos dentro de todas las zonas de captura evidenciando migraciones ontogénicas; sin embargo al no observarse diferencias significativas entre la razón isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) en el núcleo ni en el margen entre zonas de captura, se presume una sola población en el Pacífico de Costa Rica.

Las variaciones en la razón isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) entre el núcleo y el margen de los otolitos están relacionadas a diferencias en el habitat de juveniles y adultos. Las zonas de crianza se encuentran en ambientes cálidos de 20 a 29 °C, mientras que los adultos tienen una preferencia por ambientes con temperaturas más frías (13 a 23 °C).

LITERATURA CITADA

- Acero P., A., & Garzón F., J. (1985). Los pargos (Pisces: Perciformes: Lutjanidae) del Caribe colombiano. *Actualidades Biológicas*, 14 (53), 89-99.
- Allen, G. R., & Robertson, D. R. (1994). *Fishes of the tropical eastern Pacific*. University of Hawaii Press. Honolulu, Hawaii. 332 p.
- Andalecio, M. N. (2010). Multi-criteria decision models for management of tropical coastal fisheries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 557-580.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (Cuarta ed.). Blackwell Publishing. London, United Kingdom. 714 p.
- Bussing, W. A., & López-Sánchez, M. I. (2011). *Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de Centroamérica meridional*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 168 p.
- Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms, and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263-297.
- Carlström, D. (1963). A crystallographic study of vertebrate otoliths. *The Biological Bulletin*, 125 (3), 441-463.
- Carvalho, M. G., Moreira, C., Cardoso, J. F. M. F., Brummer, G. J. A., Gaever, P. V., Veer, H. W. V. D., Queiroga, H., Santos, P. T., & Correia, A. T. (2017). Movement, connectivity, and population structure of the intertidal fish *Lipophrys pholis* as revealed by otolith oxygen and carbon stable isotopes. *Marine Biology Research*, 13 (7), 764-773.
- Costello, C., Ovando, D., Hilborn, R., Gaines, S. D., Deschenes, O., & Lester, S. E. (2012). Status and solutions for the world's unassessed fisheries. *Science*, 338, 517-520.
- Cowen, R. K., & Sponaugle, S. (2009). Larval dispersal and marine population connectivity. *Annual review of Marine Science*, 1, 443-466.

- Daros, F. A., Spach, H. L., Sial, A. N., & Correia, A. T. (2016). Otolith fingerprints of the coral reef fish *Stegastes fuscus* in southeast Brazil: a useful tool for population and connectivity studies. *Regional Studies in Marine Science*, 3, 262–272.
- Dávalos-Navarro, T., & Caballero-Vázquez, J. A. (2019). Ecología y conectividad de los peces en ecosistemas costeros del Caribe mexicano. En E. Rivera-Arriaga, P. Sánchez-Gil, & J. Gutiérrez (Eds.), *Tópicos de agenda para la sostenibilidad de costas y mares mexicanos* (41-52 p.). Universidad Autónoma de Campeche. RICOMAR. Campeche, México.
- Elsdon, T. S., & Gillanders, B. M. (2002). Interactive effects of temperature and salinity on otolith chemistry: challenges for determining environmental histories of fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, 1796-1808.
- Farías-Tafolla, B., Arias-Zumbado, F., Chaves-Zamora, I., Alvarado-Ruiz, C., & Espinoza, M. (2022). Dinámica espacio-temporal de la pesquería artesanal en el Golfo de Santa Elena, Pacífico Norte de Costa Rica (2010-2019). *Revista de Biología Tropical*, 70 (1), 557-575.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2018). *The state of world fisheries and aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. FAO. Roma, Italia. 210 p.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental* (Vol. III). Roma, Italia: FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2022). FishBase. Recuperado el Abril de 2022, de <https://www.fishbase.de/summary/Lutjanus-guttatus.html>
- García, S. M., & Rosenberg, A. A. (2010). Food security and marine capture fisheries: characteristics, trends, drivers and future perspectives. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2869-2880.

- Hilborn, R., & Ovando, D. (2014). Reflections on the success of traditional fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, 71 (5), 1040-1046.
- Herzka, S. Z. (2005). Assessing connectivity of estuarine fishes based on stable isotope ratio analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64, 58-69.
- INCOPESCA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). (2022). *Información de producción nacional pesquera anual*. Recuperado el Abril de 2022, de Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura: <https://www.incopesca.go.cr/publicaciones/estadisticas/historico/2016.html>
- Kalish, J. M. (1991). Oxygen and carbon stable isotopes in the otoliths of wild and laboratory-reared Australian salmon (*Arripis trutta*). *Marine Biology*, 110, 37-47.
- King, M. (2007). *Fisheries biology, assessment and management* (Segunda ed.). Blackwell Publishing. 396 p.
- Kleisner, K., Zeller, D., Froese, R., & Pauly, D. (2012). Using global catch data for inferences on the world's marine fisheries. *Fish and Fisheries*, 14 (3), 293-311.
- Largier, J. L. (2003). Considerations in estimating larval dispersal distances from oceanographic data. *Ecological applications*, 13 (1), 71-89.
- Lombarte, A., & Leonart, A. (1993). Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes*, 37, 297-306.
- Martínez-Pérez, J. A., Morquecho-León, M. R., Farías-Tafolla, B., Badillo-Alemán, M., Gallardo-Torres, A., & Chiappa-Carrara, X. (2018). *Catálogo de otolitos Sagitta de peces del Golfo de México*. UNAM. México. 199 p.
- Mascareñas, O. I., Aburto, O. O., & Balart, F. E. (2003). *Otolitos de peces de arrecife del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. México. 120 p.
- Mora, C., Myers, R. A., Coll, M., Libralato, S., Pitcher, T. J., Sumaila, R. U., . . . Worm, B. (2009). Management Effectiveness of the World's Marine Fisheries. *PLoS Biology*, 7 (6), e1000131.

- Morales-Nin, B. (2000). Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fisheries Research*, 46, 53-67.
- Moreira, C., Froufe, E., Sial, A. N., Caeiro, A., Vaz-Pires, P., & Correia, A. T. (2018). Population structure of the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) in the NE Atlantic inferred from otolith microchemistry. *Fisheries Research*, 197, 113–122.
- Parada, C., Yannicelli, B., Hormazábal, S., Vásquez, S., Porobic, J., Ernst, B., . . . & Gretchina, A. (2013). Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(1), 1-28.
- Pauly, D., & Zeller, D. (2017). Comments on FAOs State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA 2016). *Marine Policy*, 77, 176-181.
- Pauly, D., Watson, R., & Alder, J. (2005). Global trends in world fisheries: impacts on marine. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, 5-12.
- Rojas M, J. R. (1996-1997a). Fecundidad y épocas de reproducción del "pargo mancha" *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44/45(3/1), 477-487.
- Rojas M, J. R. (1996-1997b). Hábitos alimentarios del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44/45(3/1), 471-476.
- Rojas M, J. R., Maravilla, E., & Chicas B, F. (2004). Hábitos alimentarios del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en Los Cóbano y Puerto La Libertad, El Salvador. *Revista de Biología Tropical*, 52 (1), 163-170.
- Rowell, K., True, C., Flessa, K. W., & Dettman, D. L. (2008). Fish without water: Validation and application of $\delta^{18}\text{O}$ in *Totoaba macdonaldi* otoliths. *Ciencias Marinas*, 34 (1), 55-68.
- Salazar Araya, S. (2013). Situación actual de la pesca artesanal en Costa Rica. *Anuario de Estudios Centroamericanos. Universidad de Costa Rica*, 39, 311-342.

- Shephard, S., Trueman, C., Rosalind, R., & Rogan, E. (2007). Juvenile life history of NE Atlantic orange roughy from otolith stable isotopes. *Deep-Sea Research I*, 54, 1221-1230.
- Soto-Rojas, R. L., Mejía-Arana, F., Palacios, J. A., & Hiramatsu, K. (2009). Reproducción y crecimiento del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57 (1-2), 125-131.
- Thresher, R. E. (1999) Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. *Fisheries Research*, 43, 165–204.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., & Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, 72 (S1), 7-198.
- Villalobos-Rojas, F., Herrera-Correal, J., Garita-Alvarado, C. A., Clarke, T., & Beita-Jiménez, A. (2014). Actividades pesqueras dependientes de la ictiofauna en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 62 (4), 119-137.
- Volpedo, A. V., Miretzky, P., & Fernandez, C. A. (2006) Stocks pesqueros de *Cynoscion guatucupa* y *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae), en la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación. *Memoria*, 66, 115–130.

