

Editores:

Saeko Gaitán-Ibarra

Natalia Villamizar-Villamizar



PISCICULTURA MARINA DEL RÓBALO

(Centropomus undecimalis)

AVANCES EN NUTRICIÓN,
REPRODUCCIÓN Y MANEJO



PISCICULTURA MARINA DEL RÓBALO
(*Centropomus undecimalis*)
AVANCES EN NUTRICIÓN, REPRODUCCIÓN
Y MANEJO

Saeko Gaitán-Ibarra
Natalia Villamizar-Villamizar
Editoras

Colección Ciencias Agrarias
Serie: Pesca

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Gaitán-Ibarra, Saeko, autor, editor

Piscicultura marina del róbalo (*Centropomus undecimalis*) : avances en nutrición, reproducción y manejo / Saeko Gaitán-Ibarra [y otros] ; editores, Saeko Gaitán-Ibarra, Natalia Villamizar-Villamizar. -- Primera edición. -- Santa marta : Editorial Unimagdalena, 2024.

1 recurso en línea. -- (Ciencias Agrarias. Pesca)

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-958-746-766-6 (pdf) -- 978-958-746-767-3 (epub)

1. Robalos - Cría - Caribe (Región, Colombia) 2. Acuicultura marina - Caribe (Región, Colombia) 3. Robalos - Nutrición 4. Robalos - Reproducción 5. Piscicultura I. Villamizar-Villamizar, Natalia, editora

CDD: 639.3773098611 ed. 23

CO-BoBN- 00067

Primera edición, agosto de 2024

2024 © Universidad del Magdalena. Derechos Reservados.

Editorial Unimagdalena

Carrera 32 n.º 22-08

Edificio de Innovación y Emprendimiento

(57 - 605) 4381000 Ext. 1888

Santa Marta D.T.C.H. - Colombia

editorial@unimagdalena.edu.co

<https://editorial.unimagdalena.edu.co/>

Colección Ciencias Agrarias, serie: Pesca

Rector: Pablo Vera Salazar

Vicerrector de Investigación: Jorge Enrique Elías-Caro

Diagramación: Luis Felipe Márquez Lora

Diseño de portada: Andrés Felipe Moreno Toro

Corrección de estilo: Ricardo Adrián Tete Mieles

Santa Marta, Colombia, 2024

ISBN: 978-958-746-766-6 (pdf)

ISBN: 978-958-746-767-3 (epub)

DOI: <https://doi.org/10.21676/9789587467666>

Hecho en Colombia - Made in Colombia

Entidad publica beneficiaria de los recursos del SGR o la instancia que se designó como ejecutora de estos recursos:

Universidad del Magdalena

Nombre del proyecto tal cual fue aprobado por el OCAD:

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS EN LA PISCICULTURA MARINA DEL RÓBALO PARA EL FOMENTO DE SU PRODUCCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA código BPIN 2020000100036

La UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, en su calidad de editora y titular de derechos patrimoniales de autor, y en su propósito de contribuir con la difusión y divulgación del conocimiento, la producción intelectual y la educación, dispone autorizar la reproducción impresa o digital del presente libro, de manera total o parcial, así como su distribución, difusión o comunicación pública (puesta a disposición) en medio impreso o digital de manera libre y gratuita, en tanto se mantenga la integridad del texto y se dé la correspondiente cita a sus autores y mención institucional. Queda prohibida la comercialización o venta a cualquier título de este material.



Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad de los autores y no compromete al pensamiento institucional de la Universidad del Magdalena, ni genera responsabilidad frente a terceros.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Sistema General de Regalías (SGR), la Universidad del Magdalena, Minciencias y la Universidad de Córdoba (aliados), a través del proyecto: «Implementación de sistemas productivos en la piscicultura marina del róbalo para el fomento de su producción en el departamento del Magdalena». Los editores agradecen a Sara Cruz, Loraine Cotes, Danny Daniel López, Zamir Benítez, Imael Vargas, Arnaldo Ortiz, María Mercedes Pacheco, Ramón Rojas, a todos los estudiantes del programa de Ingeniería Pesquera que realizaron sus trabajos de grados en el marco del proyecto, al igual que a los aprendices pasantes del SENA de Gaira. A todos ellos queremos agradecer por sus aportes en los diferentes roles cumplidos durante la ejecución del proyecto.

Contenido

Prólogo	7
Introducción	9
Capítulo 1. Aspectos nutricionales de la piscicultura marina	11
<i>Saeko Gaitán-Ibarra</i>	
<i>Martha Janeth Prieto-Guevara</i>	
<i>Pedro Eslava-Eljaiek</i>	
Resumen.....	11
Introducción	12
Problemática de la nutrición en la piscicultura marina.....	14
Nutrición, presas vivas y larvicultura de peces marinos	16
Estado del arte	21
Avances en la nutrición de especies marinas	23
Estudios de caso: experiencias en Colombia	29
Referencias	34
Capítulo 2. Cultivo del róbalo (<i>Centropomus undecimalis</i>)	49
<i>Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez</i>	
<i>Saeko Gaitán-Ibarra</i>	
<i>María de Jesús Contreras-García</i>	
<i>Natalia Villamizar-Villamizar</i>	
Resumen.....	49
Introducción	50
Generalidades sobre la biología y ecología de <i>Centropomus undecimalis</i>	51
Captura, transporte y aclimatación de <i>C. undecimalis</i>	54
Tratamientos profilácticos y cuarentena	57
Enfermedades y parásitos en Centropómidos	59
Aclimatación a salinidad y temperatura	63

Calidad del agua en las estaciones de cultivo	65
Alimentación de reproductores antes y durante la temporada de reproducción anual	66
Evaluación del estatus reproductivo de los individuos.....	67
Inducción de la reproducción.....	68
Colecta de huevos y manejo de embriones	69
Reversión sexual inducida en <i>Centropómidos</i>	74
Cuidados del pool genético	75
Conclusiones y recomendaciones	75
Referencias	76
 Capítulo 3. Dieta de juveniles de róbalo <i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792) del municipio de Pueblo Viejo, departamento del Magdalena, Colombia	 83
<i>José Ángel Ospina</i>	
<i>Oskarly Pérez-Anaya</i>	
<i>Pedro Eslava-Eljaiek</i>	
<i>César E. Tamaris-Turizo</i>	
Resumen.....	83
Introducción	84
Descripción ambiental del área de muestreo.....	88
Dieta de <i>C. undecimalis</i>	88
Relaciones morfológicas vs. la presa.....	91
Perspectivas sobre el róbalo en la Ciénaga Grande de Santa Marta	92
Conclusiones.....	94
Referencias	94
 Capítulo 4. Áreas óptimas para la piscicultura marina de róbalo en el Caribe colombiano	 100
<i>Jesús Correa-Helbrum</i>	
<i>Jairo Altamar</i>	
<i>Saeko Gaitán-Ibarra</i>	
Resumen.....	100
Introducción	101
Aspectos metodológicos.....	101
Resultados	113
Referencias	126

Prólogo

Navegando por los secretos de la piscicultura marina del róbalo en el Caribe colombiano

Es un honor presentar este exhaustivo compendio sobre la piscicultura marina, una obra que se destaca por su enfoque magistral en la cría del róbalo, una especie emblemática del Caribe colombiano. Como profesor por muchos años y apasionado de la acuicultura, he sido testigo del inmenso crecimiento de esta industria a nivel nacional y mundial, pero también de los desafíos y las complejidades que enfrenta, especialmente en la crianza de especies como el róbalo. En ese sentido, agradezco a las autoras de este documento que hayan considerado mi nombre; de ellas brevemente debo mencionar que han sido mis alumnas y luego colegas, quienes, continuando con los diferentes frentes de trabajo que demanda el cerrar un paquete tecnológico de una especie de cultivo, se han rodeado de investigadores experimentados para presentarnos un documento de consulta obligada que aborda cuatro temas de crucial importancia en el desarrollo de la piscicultura del róbalo.

El primer capítulo, «Aspectos nutricionales de la piscicultura marina», ofrece una profunda inmersión en la esencia de la nutrición en la cría de peces marinos. Desde la crítica fase larvaria hasta los avances en la formulación de alimentos balanceados, este capítulo destaca la importancia vital de garantizar la cantidad y calidad de alimento en las distintas etapas del ciclo de vida del róbalo. Las estrategias innovadoras, como la sustitución de harinas animales por opciones vegetales, revelan un enfoque visionario hacia la sostenibilidad ambiental en la acuicultura marina.

En el segundo capítulo, «Cultivo del róbalo común», se aborda la urgencia de encontrar alternativas sostenibles ante la sobreexplotación y la vulnerabilidad de esta especie. La producción del róbalo a través de técnicas de cultivo se presenta como una promisorio solución, destacando la fácil adaptación de la especie al cautiverio y su potencial para reducir la presión pesquera mediante estrategias de repoblamiento genéticamente responsables. Este capítulo nos invita a reflexionar sobre la

necesidad imperante de programas de conservación y la importancia de la colaboración internacional en la investigación.

El tercer capítulo, «Dieta de juveniles de róbalo», arroja luz sobre la alimentación de esta especie en un contexto específico del Caribe colombiano. Los resultados de este estudio son esenciales para comprender los hábitos alimenticios de los juveniles de róbalo y su relación con el ecosistema circundante, proporcionando una base valiosa para futuras estrategias de manejo.

Finalmente, el cuarto capítulo, «Áreas óptimas para la piscicultura de róbalo en el Caribe colombiano», nos introduce en el mundo de la tecnología geoespacial y el análisis de procesos jerárquicos para identificar las zonas más propicias para el cultivo de róbalo. Este capítulo representa una herramienta valiosa para la planificación estratégica y el ordenamiento de la piscicultura marina en la región.

Este libro no solo representa un compendio de conocimientos y experiencias acumuladas, sino también constituye un llamado a la acción. Insto a los lectores a sumergirse en sus páginas, a reflexionar sobre las prácticas actuales y a inspirarse en las investigaciones y avances presentados. Que esta obra sirva como un faro que guíe el camino hacia una piscicultura marina más sostenible, especialmente en el contexto único del róbalo en las aguas del Caribe colombiano.

Prof. Nicolás Chaparro Muñoz
M. C. en Acuicultura

Introducción

La piscicultura marina del róbalo (*Centropomus undecimalis*) es un campo en constante evolución que requiere de un enfoque integral que abarque aspectos nutricionales, reproductivos y del manejo del cultivo, en diferentes etapas de su ciclo de vida y en distintos ambientes, para garantizar su desarrollo sostenible. Diversos estudios han abordado la importancia de la nutrición en la cría de peces marinos, la alimentación de larvas, la sustitución de harinas animales por opciones vegetales, la cría de copépodos como presas vivas, y avances en la formulación de alimentos balanceados. Estos aspectos nutricionales son fundamentales para el crecimiento y la salud de los róbalos en cautiverio, contribuyendo a la viabilidad de una potencial industria acuícola en la región.

Recientemente se ha investigado el cultivo del róbalo en el Caribe colombiano, abordando temas como la captura, transporte, tratamientos profilácticos, enfermedades, aclimatación, reproducción y manejo de los reproductores, que son aspectos críticos para garantizar la posterior obtención de larvas viables y el éxito en la producción de juveniles. Grandes retos están asociados a la larvicultura y el crecimiento de las crías que requieren de un cuidadoso control de parámetros como la temperatura, salinidad y alimentación, así como el tratamiento de heridas y enfermedades que puedan afectar la salud de los peces.

Por otro lado, la puesta en marcha de cultivos en ambientes marinos requiere la identificación de áreas óptimas para el cultivo de róbalo en jaulas marinas, lo cual es un aspecto clave para el desarrollo de la piscicultura marina en la región del Caribe colombiano. El uso de técnicas como la Evaluación Multicriterio Espacial y la técnica de procesos jerárquicos analíticos (AHP) ha permitido identificar áreas aptas para el cultivo, destacando la zona sur del Caribe colombiano como la más adecuada. Sin embargo, se han identificado limitaciones técnicas en la obtención de variables precisas en zonas costeras, lo que resalta la necesidad de investigaciones adicionales y validación *in situ* de los resultados.

En este contexto, el presente compendio científico se presenta como una herramienta valiosa para contribuir a la planificación estratégica y el ordenamiento de la piscicultura marina del róbalo en el Caribe colombiano. El propósito de este libro es recopilar y analizar información especializada que aborde de manera integral los aspectos nutricionales, de reproducción, manejo y hábitat del róbalo, con el fin de proporcionar una guía para el cultivo sostenible de esta especie en la región. Los aportes presentados en esta obra no solo contribuyen al conocimiento científico en el campo de la acuicultura marina, sino que también tienen un impacto directo en la conservación de esta especie de gran importancia económica en el Caribe colombiano. La consolidación de prácticas sostenibles y el desarrollo de una industria acuícola responsable son fundamentales para garantizar la viabilidad a largo plazo de una potencial piscicultura del róbalo en la región.

Capítulo 1. Aspectos nutricionales de la piscicultura marina

Saeko Gaitán-Ibarra
Martha Janeth Prieto-Guevara
Pedro Eslava-Eljaiek



Elaboración de pellets y sistemas de mantenimiento de *Centropomus undecimalis*. a) Pelletizado, b) Estibado en bandejas de acero inoxidable y c) Sistemas de tanques para el mantenimiento de róbalos. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Resumen

La piscicultura marina ha experimentado un crecimiento a nivel mundial, pero enfrenta desafíos nutricionales en términos de garantizar la cantidad y calidad del alimento para las distintas etapas del ciclo de vida de los peces cultivados. La primera alimentación en la fase larvaria es crítica y determina el desempeño productivo en el cultivo. La sustitución parcial de harinas de origen animal por harinas vegetales es una estrategia para elaborar dietas más digeribles y amigables con el ambiente. La alimentación de larvas en la acuicultura es crucial para el éxito y la expansión de la actividad, pero la falta de suministro de nutrientes adecuados es un obstáculo. Las larvas de peces ma-

rinios son planctófagas y suelen consumir microorganismos del plancton, como microalgas, artemia, rotíferos y copépodos. Los copépodos son considerados una opción ideal debido a su alto valor nutricional, pero su cultivo presenta dificultades. En Colombia, se han identificado especies de copépodos con potencial para ser usado como presa viva en la acuicultura marina. Se han realizado estudios sobre la cría de copépodos calanoides y el cultivo de peces marinos, con el fin de aumentar la densidad de adultos en el cultivo intensivo y mejorar la eclosión de huevos. También se ha explorado el uso de proteínas vegetales, como el concentrado de proteína de soya, como alternativa a la harina de pescado en la alimentación de peces marinos. Además, se han realizado avances en la formulación de alimentos balanceados específicos para diferentes especies de peces marinos. Se han observado avances en la nutrición de especies marinas, especialmente en cultivos experimentales de róbalo.

Introducción

El crecimiento que ha mostrado la acuicultura a nivel mundial hace parte de los retos establecidos por las Naciones Unidas como parte de las soluciones a la disminución del hambre y la pobreza extrema, siendo los productos derivados de esta actividad unos de los más completos nutricionalmente. Es así como la brecha entre el volumen de peces capturados en el medio natural y el cultivado bajo dife-

rentes condiciones y ambientes disminuye año tras año, marcando una diferencia de 72 millones de toneladas en el periodo 1986 - 1995 hasta disminuirla a 2,5 millones en el año 2020 (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022). Lo anterior significa que los adelantos biotecnológicos y la inclusión de nuevas especies cultivadas han sido fundamentales en este cometido, y muchas variables han mejorado gracias a la investigación desarrollada en universidades y centros de investigación reconocidos.

Quizá uno de los aspectos en donde se ha centrado este crecimiento es el relacionado con las investigaciones en nutrición, donde, atendiendo al hábito alimenticio de las especies cultivadas, se ha tenido que buscar nuevas fuentes de materias primas para sustituir o disminuir el uso de la harina de pescado en la elaboración de los concentrados, debido a que este es uno de los insumos de mayor incidencia en la producción acuícola. Es de anotar que los mayores desarrollos llevados a cabo en la acuicultura se han centrado mayoritariamente en las especies dulce acuícolas (Alanes, 2020; Gutiérrez-Espinosa y Garzón, 2019; Velasco-Santamaría y Corredor-Santamaría, 2011), mientras que los logros alcanzados en aspectos relacionados con la nutrición de la piscicultura marina siguen siendo escasos, situación que se agudiza por los altos costos de producción generados por las grandes inversiones en infraestructura (Izquierdo *et al.*, 2001), además de la reglamentación y permi-

sos que se deben abordar para su funcionamiento y las exigencias en recursos y capital humano.

Los retos que se presentan desde la perspectiva de la nutrición de peces no son pequeños, ya que dependen en cierta medida de los requerimientos nutricionales de las especies de interés y la disponibilidad de los ingredientes de origen vegetal y animal, así como de la inestabilidad nutricional por la sustitución parcial o total de la harina de origen animal (principalmente de pescado) y el aceite de pescado por harinas y aceites de origen vegetal, lo que podría afectar la producción (biomasa) y la respuesta inmune e inflamatoria de los peces (Merrifield *et al.*, 2011; Oliva-Teles *et al.*, 2022). Los esfuerzos investigativos en países tropicales deben entonces orientarse hacia la sustitución de ingredientes alimentarios de alto costo, utilizados tradicionalmente, por subproductos agroindustriales de bajo costo, considerando las principales fuentes de producción de cada región tales como: frijol, arroz, yuca, maíz, sorgo, plátano, diversas semillas, granos, algas, entre otros; el empleo de productos provenientes de la captura incidental (*bycatch*), que pueden oscilar entre el 1 al 10 % para la flota artesanal y entre 4 al 98 % para la flota industrial de arrastre, dependiendo de la pesquería (Correa-Helbrum *et al.*, 2022); y la incorporación de otros subproductos de origen animal. Sin embargo, muchas de las materias primas con posibilidad de uso están constituidas por altas

concentraciones de compuestos anti-nutricionales que son factores limitantes de la digestibilidad y palatabilidad, tales como fitatos, taninos, oxalatos, entre otros que afectan la biodisponibilidad de las proteínas y, en consecuencia, limitan el crecimiento de los peces cultivados (Valdez-González *et al.*, 2017). En ese sentido, la industria aplica el bioprocesamiento de ingredientes empleando la fermentación, la cocción y el descascarado de semilla y granos, que son técnicas de bajo costo para la elaboración de dietas y, sobre todo, substanciales para aumentar la digestibilidad de proteínas, con repercusión positiva en el cultivo.

A pesar de los avances que se han logrado en el procesamiento de materias primas para un mejor aprovechamiento de los nutrientes en las distintas especies cultivadas (Hleap Zapata y Gutiérrez Castañeda, 2017), Colombia solo cuenta con empresas bien posicionadas en los mercados de alimentos balanceados nacionales e internacionales enfocados en peces cultivados en aguas continentales, entre ellas: Soya, Industria de Alimentos Balanceados, Ralston Purina International, Nestle Purina Pet Care de Colombia S. A., Industrias Paraná Jafari Products, Nutracol, Peces Ornamentales El Tiple Ltda., entre otros. En ese sentido, no es el mismo panorama el que se presenta con la producción nacional de alimentos balanceados para peces marinos, los cuales deben ser importados, aumentando así los costos y la incertidumbre de contar con muy pocas e in-

adecuadas formulaciones alimenticias específicas para las especies cultivadas, que cumplan con los requerimientos nutricionales de acuerdo con las diferentes etapas de vida. Por tal razón, el objetivo de este capítulo es presentar las necesidades requeridas por la piscicultura marina desde el punto de vista nutricional, las tendencias y los retos.

La piscicultura marina ha venido experimentando un rápido crecimiento en términos de valor, volúmenes cosechados y número de especies cultivadas emergentes. Según Lowder *et al.* (2014), del año 2000 al 2013, la producción mundial de peces marinos criados en piscifactorías presentó una tasa anual de crecimiento del 6,9 %, pasando de 0,97 a 2,28 millones de t, respectivamente, generando el 6,1 % en ingresos totales de la acuicultura. Especies como la cobia (*Rachycentron canadum*), lubina asiática (*Lates calcarifer*), pámpanos (*Trachinotus* spp.), meros (*Epinephelus* spp.), pargos (*Lutjanus* spp.), jureles y seriolas (*Seriola* spp.) se producen comercialmente y presentan una gran demanda en el mercado mundial por la excelente calidad de su carne, valor nutricional y los tamaños que alcanzan (Catacutan y Coloso, 1995; Tucker, 2012). De igual manera, el róbalo común (*Centropomus undecimalis*) es un pez marino de interés comercial y que ha venido presentado un importante interés para su cultivo en algunos países de América, particularmente en México, Brasil, Estados Unidos y Colombia, por el valor que presenta este producto ali-

menticio en el mercado, especialmente su filete, y también como actividad recreativa para la pesca deportiva (Giovanni *et al.*, 2022; Yanes-Roca *et al.*, 2009). De igual manera, reviste gran interés profundizar estudios en aspectos relacionados con la fisiología reproductiva y digestiva, considerando la particular situación que atraviesa la especie en Colombia, la cual ha sido reportada como especie en categoría «Vulnerable», según el *Libro rojo de peces marinos de Colombia* (Grijalba-Bendeck *et al.*, 2017).

Problemática de la nutrición en la piscicultura marina

Desde la perspectiva mundial, la demanda de productos de la pesca de organismos marinos está muy por encima de lo proyectado en las capturas de recursos explotados y no explotados (FAO, 2022), realidad que debe ser abordada por la acuicultura marina y continental, dadas las exigencias cada vez mayores en términos de seguridad y soberanía alimentaria, problemática potenciada por una población en continuo crecimiento demográfico.

El gran desarrollo que ha tenido la piscicultura en las últimas décadas ha dejado en evidencia la necesidad de garantizar cantidad y calidad de alimento para suministrar en las distintas etapas del ciclo de vida de los organismos que se cultivan; por tal razón, el reto es muy grande, considerando que en las primeras etapas de vida se requiere de presas

generalmente vivas (zooplancton o fitoplancton) que estén acordes al perfil nutricional requerido, tamaño de la boca y cantidad necesaria para cumplir con los requerimientos de la especie. Además, se debe tener en cuenta que esta primera etapa es la más compleja, caracterizada por grandes cambios morfológicos en el organismo y donde se presentan altas mortalidades, que superan el 60 %, y una de las causas principales es no contar con la alimentación adecuada para las fases tempranas de los organismos cultivados. Asimismo, en las etapas siguientes, y de acuerdo con los hábitos alimenticios de las especies, se requiere de insumos específicos para garantizar un máximo crecimiento y producción.

En este punto juega un papel importante la disponibilidad de los ingredientes, su constitución, digestibilidad y, sobre todo, los costos de estos. Por tanto, todo esfuerzo realizado para disminuir el costo de producción es el camino correcto, y debe estar enfocado desde la nutrición hacia la búsqueda de alimentos alternativos biodisponibles para las especies, que sean más baratos, asequibles y, especialmente, desde la perspectiva de la producción, dirigidos a optimizar los procesos de cría y levante, así como a garantizar resultados económicos positivos. Al considerar que gran parte de la alimentación en la piscicultura tiene como insumo primordial la harina y el aceite de pescado provenientes tanto de peces silvestres como de cultivos, sería importante revisar los reportes

actualizados que han sido realizados por OECD/FAO (2022) y FAO (2022), publicados en el documento *Estado mundial de la pesca y la acuicultura*, a fin de analizar la realidad sobre los ingredientes provenientes de los ambientes marinos y considerar de manera holística aspectos relacionados con la sobreexplotación que experimentan las pesquerías de captura y el propósito final de la acuicultura.

En el caso específico de la piscicultura marina, esta se enfrenta a grandes retos alimentarios, debido a las exigencias nutricionales y energéticas de los peces cultivados, a los cuales se les debe proveer de nutrientes como aminoácidos esenciales, ácidos grasos altamente poliinsaturados, enriquecedores, estimuladores de crecimiento, entre otros elementos. Para optimizar la producción de diferentes insumos requeridos desde este tipo de piscicultura, es esperanzador que funcionen las políticas implementadas para el buen manejo o gestión de los recursos, las cuales permiten que las poblaciones de ciertas especies se estén recuperado en los últimos años, lo que, por ende, favorece a las pesquerías de reducción; a su vez, los organismos silvestres de países con recursos infrautilizados y el empleo de la pesca de descartes indicaría que, a mediano plazo, la disponibilidad de materia prima para la reducción permanecerá potencialmente sin cambios (OECD/FAO, 2022). Sin embargo, como se ha planteado en distintos escenarios, la alimentación en peces debe orientarse al remplazo par-

cial de harinas de origen animal por harinas vegetales, sin detrimento de la calidad nutricional requerida por la especie objetivo y con miras a la elaboración de dietas más digeribles y amigables con el ambiente.

Nutrición, presas vivas y larvicultura de peces marinos

En la producción de peces marinos, la fase que comprende el desarrollo larvario implica profundos cambios morfológicos y fisiológicos desde la eclosión de los organismos, seguida por la primera alimentación y el subsecuente desarrollo. En la producción piscícola, y particularmente en esta etapa de larvicultura, la primera alimentación se distingue por ser el punto crítico y se torna la base del desempeño productivo en el cultivo. La inadecuada nutrición de las larvas se destaca como uno de los principales factores responsables en los frecuentes desaciertos en la larvicultura, lo que constituye un obstáculo al éxito y la expansión de la actividad acuícola (Das *et al.*, 2012; Kandathil Radhakrishnan *et al.*, 2020; Mæhre *et al.* 2013; Pan *et al.*, 2022b; Prieto y Atencio, 2008; Ramlee *et al.*, 2021). La mayor mortalidad en la producción acuícola se observa en las primeras etapas de vida, debido principalmente a los requerimientos nutricionales no suplidos para el óptimo desempeño de las larvas.

Las larvas de la mayoría de las especies marinas y tropicales son altriciales,

es decir, inician la alimentación exógena antes de la reabsorción plena del saco vitelino, y al finalizar esta reabsorción tienen un tracto digestivo poco desarrollado, sin presencia de glándulas gástricas anexas y con un intestino anterior indiferenciado (Pan *et al.*, 2022b; Narasimappallavan *et al.*, 2022). En general, todas las especies de peces en su estado larval son planctófagas, principalmente zooplanctófagas, independientemente de su comportamiento herbívoro o carnívoro en su vida adulta. El plancton que consumen está conformado por microorganismos vegetales (fitoplancton) y animales (zooplancton), los cuales son causantes del flujo inicial de la materia orgánica y son la base de la red trófica en los ecosistemas acuáticos; entre los microorganismos del plancton, se destacan por su uso como presa o alimento vivo en acuicultura a las microalgas, la artemia, los rotíferos, los cladóceros y los copépodos, usados como fuente alimenticia para etapas tempranas de peces y crustáceos (Das *et al.*, 2012; Dey *et al.*, 2022; Kandathil Radhakrishnan *et al.*, 2020; Santhosh *et al.*, 2023).

El valor nutricional de estas presas vivas va más allá de su aporte en compuestos bioquímicos nutricionales (proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas o minerales), ya que también resulta fundamental la variedad de tamaños que presentan, su estructura orgánica (ornamentaciones), movilidad, digestibilidad y posición, y distribución en la columna de agua; todo esto asociado

al perfil de aminoácidos y ácidos grasos como principales nutrientes requeridos por las larvas (Kandathil Radhakrishnan *et al.*, 2020; Mæhre *et al.*, 2013; Pan *et al.*, 2022a; Prieto y Atencio, 2008; Ramlee *et al.*, 2021; Samat *et al.*, 2020; Santhosh *et al.*, 2023). Este conjunto de características hace que cada uno de estos microorganismos sea significativo para una variedad de predadores, por lo cual existe la necesidad de identificar cuál grupo del plancton o presa viva es el ideal para determinadas especies de peces, puesto que el uso de alimento vivo para la producción larvaria es ideal como presa transportadora de compuestos orgánicos, con características atractivas a las larvas, con alto contenido de nutrientes y, adicionalmente, enzimas que actúan como exoenzimas para la larva (Hernández, 2020; Pan *et al.*, 2022b; Prieto *et al.*, 2006; Rivera y Botero, 2009). Las condiciones y características descritas destacan la diferencia con el alimento inerte usado en esta fase; este último en general no satisface completamente los requerimientos nutricionales de las larvas en la primera alimentación o en su fase inicial planctófaga (Dey *et al.*, 2022; Mæhre *et al.*, 2013; Narasimapallavan *et al.*, 2022; Pan *et al.*, 2022a; Pan *et al.*, 2022b).

Durante las fases iniciales de desarrollo larvario de peces marinos, la alimentación es crucial. Tradicionalmente, se han utilizado rotíferos y nauplios de *Artemia* spp. como fuente de alimento (Dey *et al.*, 2022; Imentai *et al.*, 2019; Mæhre *et al.*, 2013; Narasimapallavan *et*

al., 2022). Sin embargo, en su hábitat natural, las larvas no suelen consumir estos organismos. En la naturaleza, *Artemia* spp. habita en biotopos o zonas hipersalinas continentales donde las larvas de peces marinos no pueden vivir. Aunque los rotíferos son parte de la dieta larvaria, en la naturaleza, las larvas tienden a consumir más copépodos, como ha sido evidente al observar su contenido estomacal e intestinal (Day *et al.*, 2022; Munk y Nielsen, 1994; Pan *et al.*, 2022a; Santhanam *et al.*, 2019; Santhosh *et al.*, 2023). Por esta razón, se ha generado amplia investigación y existe diversidad de información sobre el uso de copépodos en la alimentación larvaria, y se han realizado múltiples eventos de difusión académica que destacan su relevancia nutricional (Ajiboye *et al.*, 2011; Day *et al.*, 2022; Drillet *et al.*, 2011; Hansen, 2017; Lee *et al.*, 2008; Pan *et al.*, 2022a; Ramlee *et al.*, 2021; Rasdi y Qin, 2016; Santhosh *et al.*, 2023; Schipp, 2006; Støttrup, 2006). Estrategias para potenciar el valor nutricional de rotíferos y artemia se han implementado mediante el uso de productos comerciales para enriquecer estas presas vivas (Cavrois-Rogacki *et al.*, 2020; Dey *et al.*, 2022; Ghaderpour y Estevez, 2020; Joshua *et al.*, 2022; Kandathil Radhakrishnan *et al.*, 2020; Li y Olsen, 2015; Pan *et al.*, 2022a; Radhakrishnan *et al.*, 2020; Rocha *et al.*, 2017). A pesar de ello, se han observado deficiencias nutricionales y baja supervivencia en algunas especies larvarias de peces (Burbano *et al.*, 2020; Martinez-Silva *et al.*, 2018; San-

thanam *et al.*, 2019; Shao y Zeng, 2020; Sowaske *et al.*, 2023).

En particular, entre las presas vivas relacionadas y tal como se ha descrito, los copépodos son el principal alimento para la mayoría de larvas de peces marinos. En ellos se reporta un alto contenido de proteínas, óptimo perfil de aminoácidos y alta composición de ácidos grasos (HUFA) (Dey *et al.*, 2022; Kadhar *et al.*, 2014; Kandathil Radhakrishnan *et al.*, 2020; Santhanam *et al.*, 2019). Diversos autores consideran que en su totalidad presentan alto valor nutricional en comparación con rotíferos y nauplios de artemia, cuando son alimentados con una adecuada dieta mixta de microalgas (Alajmi y Zeng, 2014; Ballesteros-Reondo *et al.*, 2023; Das *et al.*, 2012; Dey *et al.*, 2022; Drillet *et al.*, 2011; El-Tohamy *et al.*, 2021; Hagiwara *et al.*, 2014; Kadhar *et al.*, 2014; Kline y Laidley, 2015; Luo *et al.*, 2019; Paul *et al.*, 2023; Ruiz-Guzmán *et al.*, 2012; Santhosh *et al.*, 2023). En concreto, los copépodos han sido muy recomendados para uso como alimento vivo en acuicultura, mejoran la sobrevivencia, desarrollo y crecimiento larval (Dey *et al.*, 2022; Drillet *et al.*, 2011; Hagiwara *et al.*, 2014; Kadhar *et al.*, 2014; Kline y Laidley, 2015; Santhosh *et al.*, 2023; Sun *et al.*, 2023). Actualmente, la producción de copépodos con fines acuícolas ha permitido avanzar en la optimización de cultivos larvarios de peces de interés zootécnico (Pan *et al.*, 2022a; Pan *et al.*, 2022b; Rasdi y Qin, 2016; Santhanam *et al.*, 2019; Shao y Zeng, 2020; Sowaske *et*

al., 2023). Para las larvas de las diversas especies de róbalo del género *Centroponus*, los copépodos son una opción idónea (Araujo *et al.*, 2011; Barroso *et al.*, 2013; Cerqueira y Tsuzuki, 2009; Hauville *et al.*, 2016; Vanacor-Barroso *et al.*, 2017).

Sin embargo, a pesar de las ventajas de los copépodos, su uso es limitado en acuicultura, debido principalmente a la dificultad de su cultivo (Franco *et al.*, 2017; Santhosh *et al.*, 2023; Torres *et al.*, 2021; 2022); la producción de copépodos requiere optimizar protocolos de manejo y control en la concentración adecuada de alimentos, con el objetivo de lograr el mayor crecimiento poblacional de estas presas en el menor tiempo posible.

Recientemente, se ha establecido que especies con producción de huevos de resistencia (Acartidae, entre otros) pueden ser utilizados en oportunidades de negocio similares a los cistos de artemia, puesto que los huevos permiten su almacenamiento a bajas temperaturas para posterior eclosión y uso en acuicultura (Santhanam *et al.*, 2023; Torres *et al.*, 2021; Wilson *et al.*, 2022). Un ejemplo de lo anterior es el copépodo cosmopolita *Acartia tonsa*, el cual ha sido ampliamente estudiado por su importancia ecológica y oportunidad para la producción de huevos de resistencia (Chinnery y Williams, 2004; Vitiello *et al.*, 2016). Sin embargo, existe evidencia de fuertes variaciones entre las poblaciones de la misma especie, por lo que se sugiere la evaluación del potencial de cepas particulares,

con el fin de evitar la transferencia desde diferentes sitios.

En Colombia, entre los copépodos con potencial para su utilización como presa viva, la Universidad de Córdoba y la Universidad de Nariño reportan varias especies de calanoides de los géneros *Acartia* y *Parvocalanus*. La especie *Parvocalanus crassirostris* se destaca por su potencial como partícula alimenticia gracias a su pequeño tamaño, corto tiempo de generación y buen perfil bioquímico (Alajmi y Zeng, 2014; Kline y Laidley, 2015). Por su parte, *A. tonsa* ha sido reportada en el Caribe colombiano y trabajos recientes han evaluado el potencial de sus huevos de resistencia como una alternativa de alimento vivo para la acuicultura. Dichos estudios están orientados a potencializar este copépodo nativo como aporte para el desarrollo de la acuicultura marina regional y nacional (Torres *et al.*, 2021; 2022).

Para la cría de copépodos calanoides se sugiere la aplicación propia del cultivo intensivo, no obstante, actualmente las densidades no superan unos pocos adultos por mililitro. Existen varias explicaciones para ello, pero ninguna ha permitido aumentar la densidad de adultos. Un reciente estudio propone una nueva explicación al problema de la baja densidad de adultos en cultivo intensivo, utilizando como modelo el copépodo *Parvocalanus crassirostris*. En el estudio de Valencia *et al.* (2022) se determina la supervivencia de los huevos al daño causado por los adultos durante el desove;

una prueba de desove de alta densidad (5-80 adultos mL) utilizando poca profundidad (2,5 cm) y nivel de sobresaturación de oxígeno para una separación rápida de los huevos y suficiente oxígeno para los adultos, respectivamente; así mismo, se evalúan dos sistemas de recolección continua de huevos, filtración y sedimentación, bajo una alta densidad de cultivo de adultos (10 adultos mL). El conocimiento adquirido en dicho estudio permitió establecer que los adultos de *P. crassirostris* dañan rápidamente los huevos durante el desove, empero, la presencia de alimento reduce este daño. Los adultos presentaron una elevada producción de huevos por hembra por día, hasta 10 por mL; esta última aumenta significativamente a más de 170 huevos por mililitro por día en densidades de 20 a 30 adultos por mililitro (Valencia *et al.*, 2022). Asimismo, se establece que el sistema de recolección continua por filtración genera deformación de los huevos y una menor producción de huevos por hembra y de huevos por mililitro en contraste al sistema de recolección pasiva por sedimentación (Valencia *et al.* 2022; Torres *et al.*, 2022). Esta nueva explicación contribuye a la generación de nuevas estrategias de recolección de huevos en copépodos calanoides de importancia acuícola.

En los trabajos desarrollados con el copépodo *Acartia tonsa* aislado de poblaciones tropicales en Colombia, se pudo establecer que los huevos producidos presentan una baja eclosión después de

un almacenamiento prolongado, un aspecto crítico que dificulta su uso en acuicultura (Torres *et al.*, 2021). En adultos de *A. tonsa* cultivados con la microalga *Rhodomonas salina* a diferentes salinidades y temperaturas, los huevos se recolectaron para determinar el éxito de la eclosión de huevos frescos y almacenados en frío hasta cuatro y ocho semanas. Las diferentes combinaciones de temperaturas (18, 23, 28 y 29 °C) y salinidades (18 y 30 PSU) implementadas permitieron, en su mayoría, una gran eclosión (>90 %) de los huevos. Sin embargo, la baja salinidad y la alta temperatura dieron como resultado una eclosión significativamente menor (81 %) de los huevos frescos. La combinación de 18 °C y 30 PSU permite una mejor eclosión en huevos almacenados durante dos y cuatro semanas (85 % y 73 %, respectivamente). Los huevos quiescentes almacenados se vieron fuertemente afectados por la temperatura y la salinidad del ambiente de cultivo; por otro lado, los huevos frescos (subitáneos) no dependen tanto de estas variables (Torres *et al.*, 2021). Por lo tanto, los criterios para seleccionar qué combinación de salinidad y temperatura son mejores para el cultivo y manejo de adultos de esta especie para la producción de huevos dependerá de si los huevos se utilizarán para uso inmediato (frescos) o para almacenamiento.

Al mismo tiempo, el concepto de separación continua de huevos y adultos se ha estudiado para evaluar la posibilidad de cultivar el copépodo *A. tonsa* en

alta densidad (> 2.5 adultos mL⁻¹). Cuatro aspectos fundamentales se han abordado: la evaluación de densidades (5, 10, 15, 30 y 45 adultos mL⁻¹) para determinar la producción específica y relativa de huevos, la determinación de la forma de los huevos recién desovados en hembras maduras, la evaluación de la frecuencia respiratoria bajo cuatro velocidades corporales en el sistema de filtrado en cuatro diferentes tasas de intercambio de agua (50, 100, 150 y 200 volúmenes día⁻¹) y el diseño de un prototipo de alta densidad (7 adultos mL⁻¹) basado en la separación continua de huevos (Torres *et al.*, 2022). De esta experiencia de investigación se pudo establecer que la producción específica de huevos disminuyó con la densidad del cultivo, pero la separación rápida de los huevos permitió una producción relativamente alta de huevos cuando se alcanzó una densidad de 10 adultos mL⁻¹. Los huevos recién desovados se alargan durante los primeros siete minutos, lo que sugiere su fragilidad cuando están recién desovados. La velocidad del agua aumentó la frecuencia respiratoria de los adultos y la producción de huevos alcanzó un máximo de 100 volúmenes por día. Esto evidencia un gran potencial para aumentar la producción de huevos con una alta densidad de adultos (>2,5 ml⁻¹), lo cual fue confirmado por una producción relativa de huevos más alta en el prototipo que en el sistema de control (Torres *et al.*, 2022). Los estudios descritos sobre las experiencias en Co-

lombia contribuyen al cultivo intensivo de *A. tonsa* en una densidad superior a 5 mL, esto es posible con una alta tasa de intercambio de agua y una cuidadosa recolección de huevos.

Estado del arte

Desde el ámbito bromatológico, los productos con proteína de primera calidad y de origen animal suelen ser más costosos que cualquier otro alimento. En el caso de los alimentos utilizados en la acuicultura, la necesidad de un alto requerimiento de proteína contribuye al alto costo asociado a los precios de producción. Por otro lado, las dietas con exceso de proteína van a ser utilizadas por el pez como fuente de energía, lo que colateralmente producirá procesos de desaminación en el cuerpo de agua por aumento en la excreción de amoníaco, por lo que debe existir un equilibrio entre la relación de proteína (P) y la energía (E) que le aporta el alimento a las especies cultivadas. La relación P/E (mg proteína/kcal) ha sido determinada para dietas de varias especies acuícolas: bagre de canal, 87 (Garling y Wilson, 1976); carpa herbívora, 100-124 (Xianghua, 1988); carpa mayor india, 95 (Das *et al.*, 1991); tilapia spp., 111 (Santiago y Laron, 1991); tilapia del Nilo, 110 (El-Sayed y Teshima, 1992); tilapia azul, 108 (Winfree y Stickney, 1981); lubina rayada híbrida, 125 (Nematipour *et al.*, 1992) y bagre africano, 145 (Henken *et al.*, 1986); para el caso de juveniles de lubina asiática una dieta

al 42,5 % de proteína bruta (PB) con una relación P/E de 128 mg de proteína/kcal de energía, estimación que resultó óptima (Catacutan *et al.* 2001).

El cultivo de peces marinos con importancia económica generalmente se realiza con especies de hábitos alimenticios carnívoros, siendo la proteína el macronutriente de mayor importancia como fuente fundamental de crecimiento y obtención de energía (National Research Council [NRC], 1993). Sin embargo, este nutriente al mismo tiempo es uno de los principales contaminantes del medio, debido al nitrógeno excretado por los peces (Schulz *et al.*, 2008) o porque no logra ser digerido. Hace más de dos décadas, la tendencia en temas nutricionales apunta a incorporar mayor contenido de lípidos en las dietas para su uso como fuente principal de energía, disminuyendo así los niveles de proteína; en consecuencia, se reducen los costos y la cantidad de nitrógeno excretado por los peces (Schulz *et al.*, 2008). Sin embargo, los niveles de tolerancia de lípidos de algunos peces marinos son muy bajos y dependen de la actividad enzimática digestiva y metabólica de cada especie. Por tal razón, se hace necesario profundizar en estudios que involucren mayor conocimiento de las funciones enzimáticas y las fuentes de ingredientes de proteínas vegetales, tal es el caso del subproducto de la soya, denominado como SPC (concentrados comestibles de proteína de soya), que es extraído con alcohol acuoso de la soja desgrasada y es una fuente de proteínas

con algunas características similares al de la harina de pescado (NRC, 1993), con niveles de aminoácidos esenciales (AAE) importantes, a excepción de metionina y, potencialmente, lisina (Masumoto *et al.*, 1996), lo que resulta ser una alternativa prometedora para especies marinas. Además, los componentes anti-nutricionales como lectinas, saponinas, antígenos de soja e inhibidores de tripsina se presentan en proporciones más bajas que las que se encuentran en las harinas de soja convencionales (Hart *et al.*, 2007; Peisker, 2001).

El alimento balanceado que se utiliza para muchas de estas especies marinas supera el 55 % de PB; adicional a esto, también se combinan con presas frescas picadas de peces y camarón de bajo valor comercial; tal es el caso del róbalo blanco, cuyos reproductores se alimentan con mezclas de alimento balanceados y trozos de pescado en una relación de 1:1 (Figura 1), de allí la necesidad de formular y elaborar alimentos balanceados específicos para las diferentes especies y etapas de vida de peces marinos, para aportar al desarrollo de la biotecnología de cultivo.

Figura 1. Proceso de elaboración de alimento balanceado utilizado en el cultivo de róbalo (*Centropomus undecimlalis*)



Notas: a) pescado fresco; b) camarón seco; c) harina de pescado; d) harina de camarón y mezcla de ingredientes; e) elaboración del pellet; f) secado en horno; g) empacado y pesaje. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

En otras partes del continente la piscicultura marina ha crecido más en aguas cálidas, con especies como la lubina

asiática (Boonyaratpalin, 1997; Glen-cross, 2006) y la cobia *Rachycentron canadum* (Salze *et al.*, 2010), con avances

nutricionales que se acercan cada vez más a un alimento específico para dichas especies; caso diferente se presenta con los róbalo (*Centropomus* spp.), para los cuales se han logrado algunos progresos en aspectos relacionados con su reproducción, crianza y cultivo, que son aún incipientes, muy recientes y principalmente en dietas basadas en alimentos frescos (Abasubong *et al.*, 2021; De Verdal *et al.*, 2018; Sitjà-Bobadilla *et al.*, 2005; Tucker, 1987; Zarza-Meza *et al.*, 2006) o formuladas para peces carnívoros de agua dulce (Gracia-López *et al.*, 2003) u otras especies marinas de aguas cálidas (Bowyer *et al.*, 2013).

Avances en la nutrición de especies marinas

Estimuladores de crecimiento

En la medida que se desarrolla la piscicultura marina, se ha evidenciado el aumento de enfermedades ya existentes y emergentes que proliferan en las diferentes etapas de vida de los organismos cultivados y que terminan afectando la producción y los costos de inversión, como consecuencia de la interacción del patógeno, el huésped y el medio ambiente (Toranzo *et al.*, 2005). Tradicionalmente, se ha recurrido al empleo de antibióticos, antimicóticos o productos químicos de amplio espectro, algunos de ellos lesivos y con efectos colaterales para combatir las enfermedades. Sin embargo, la utilización inapropiada de

los medicamentos provoca o induce a la selección de algunas cepas bacterianas patógenas resistentes (Vázquez *et al.*, 2005), al igual que pueden convertirse en fuente de contaminación ambiental (Hassan *et al.*, 2021). Los probióticos pueden ser una opción para prevenir la enfermedad bacteriana en la acuicultura (Jatobá *et al.*, 2008), disminuyendo la carga bacteriana por medio de sustancias inhibidoras, lo que ayuda a la estimulación del sistema inmunitario del huésped y a producir enzimas digestivas (Verschuere *et al.*, 2000). El uso de *Lactobacillus* ha presentado resultados positivos en cultivos piscícolas: Souza (2007) observó que las bacterias probióticas *Lactobacillus plantarum* y *Lactococcus* sp. *in vitro* e *in vivo* para el róbalo (*C. mexicanus*) mejoraron la actividad de una proteasa alcalina que favorece las actividades digestivas de los peces. Además, Jatobá *et al.* (2008) y Jatobá (2008) confirmaron el efecto probiótico de *L. plantarum* sobre la tilapia del Nilo en agua dulce y salobre; el objetivo de este estudio fue evaluar los cambios en la flora intestinal, los parámetros hematológicos y el rendimiento de crecimiento de juveniles de róbalo gordo en condiciones de laboratorio cuando se alimentan con una dieta suplementada con probiótico (*L. plantarum*).

Es un hecho irrefutable que una buena alimentación y un buen manejo ictiosanitario del sistema garantiza parte del éxito de la producción, por lo cual es importante proveer una excelente

alimentación. Gaitán *et al.* (2024) emplearon suplementos alimenticios que potenciaron aún más los resultados de producción; Rengpipat *et al.* (2008) demostraron el efecto favorable sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles de lubina asiático (*L. calcarifer*) al suministrar *Lactobacillus* sp. A su vez, Carnevali *et al.* (2006) experimentaron, con el empleo de *L. delbrueckii delbrueckii* aislado del pez lubina europea (*Dicentrarchus labrax*), un aumento en peso, expresado en el gen para el crecimiento que fue registrado. También, Soligo *et al.* (2011) y Silvão y Nunes (2017) reportaron un crecimiento mejorado cuando los juveniles de róbalo común fueron alimentados utilizando dietas con 500 g kg⁻¹ de PB y 130 g kg⁻¹ de grasa. De igual manera, en juveniles de róbalo, Álvarez-Lajonchère y Taylor (2003) referenciaron que los costos en elaboración de alimentos balanceados se encuentran entre 14 a 16 % con relación a la producción de alimento vivo que se encuentra entre 26 y 37 % del total de la producción, mientras que Zarsa-Meza *et al.* (2006) demostraron que, al comparar la producción del cultivo del róbalo blanco y róbalo chucumite (*C. parallelus*, Poey), se observan buenos resultados de crecimiento al ser alimentados con tilapia.

Por otra parte, algunos promotores de crecimiento, como el neuropéptido Y (NPY), estimulan la ingesta de alimentos en peces, razón por la que algunos autores, como Yu *et al.* (2021), han adelantado estudios en tilapia, evaluando

los efectos sobre el crecimiento de *Oreochromis niloticus* alimentados con harina de pescado por su estabilidad térmica baja, demostrando que el NPY podría promover el crecimiento de tilapia con dietas bajas en harina de pescado administradas por vía oral. Asimismo, Kousoulaski *et al.* (2009) determinaron que la fracción soluble del agua en la harina de pescado (stickwater o SW por sus siglas en inglés) estimuló el crecimiento del salmón del Atlántico (*Salmo salar* L.) con dietas ricas en proteínas vegetales. Las dietas probadas fueron isonitrogénicas, isolipídicas e isoenergéticas, y se encontró que el crecimiento de los peces se vio afectado positivamente por el aumento del nivel de inclusión de SW en las dietas bajas en harina de pescado. Las dietas bajas en harina de pescado que se complementaron con SW tuvieron el mismo rendimiento, tanto en términos de crecimiento como de utilización del alimento, que la dieta de control.

Alimentación en reproductores

La alimentación de los reproductores de róbalos es considerada de gran importancia en la producción, debido a que de ella depende en gran medida la calidad de los gametos. De igual manera, factores que afectan las condiciones ambientales, lugar de cría, calidad del agua, manejo del sistema y métodos de inducción al desove afectan los procesos de maduración y el desove de los reproductores (Arenas *et al.*, 2021; Concha-Frías

et al., 2018). Estos procesos son determinantes al punto que los reproductores pueden presentar mecanismos de repuestas de reabsorción gonadal, o de retraso en su desarrollo, evitando el logro de una progenie viable. El estrés producido por manipulación o por cambios ambientales desfavorables pueden limitar el éxito de la reproducción, a pesar de que hayan sido animales mantenidos con excelente alimentación, buen mantenimiento y adecuada terapia hormonal. Por tanto, el proceso de maduración y desove presenta un efecto en la etapa larval y de desarrollo de la especie, aunque se debe seguir profundizando por la complejidad de estas interacciones. En ese sentido, es importante avanzar en estudios moleculares que permitan relacionar las respuestas de estas primeras fases de vida y su futuro desarrollo, con el fin de minimizar esfuerzos que permitan el desarrollo y mantenimiento de las especies hermafroditas protándricas en instalaciones más económicas (mantenimiento en sistemas de cultivo de agua dulce) y se inviertan esfuerzos que permitan disminuir los costos de producción (Alvarez-Lajonchère y Taylor, 2003; Engle *et al.*, 2024).

En términos generales, es importante tener presente la etapa de vida de la especie y los hábitos alimenticios para acercarse a proporcionar el alimento que más simule el que consume la especie en su ambiente natural. La experiencia que hemos tenido los autores, particularmente con *C. undecimalis*, es muy

interesante, considerando que es una especie netamente carnívora y cazadora, condiciones que se deben superarse al momento de la domesticación para lograr con éxito que se acostumbre a la nueva alimentación con balanceados.

Principales constituyentes de alimentos para reproductores de Centropomus undecimalis

Rol de las proteínas y lípidos en los reproductores. Los reproductores de *C. undecimalis* presentan grandes exigencias en sus requerimientos proteicos, que se basan principalmente en proteína de origen animal con buenos aportes de aminoácidos; ácidos grasos altamente polinsaturados (PUFA), como EPA-ácido eicosapentaenoico (20:5n-3)-y DHA-ácido docosahexaenoico (22:6n-3)-; vitaminas del complejo A, E, C, D3 y las del complejo B; y bajas cantidades de fibras, agua y minerales. Sin embargo, hay que considerar que las necesidades nutricionales son diferentes entre las especies (Alvarez-Lajonchère, 2006).

Se ha analizado la posibilidad de preparar dietas balanceadas que reúnan los requerimientos nutricionales de los reproductores y que tengan una constitución en la que se utilicen diversas especies de peces marinos, lo cual ha arrojado buenos resultados en la calidad de los huevos y larvas (Watanabe y Vassallo-Agius, 2003). Los nutrientes esenciales, particularmente lípidos, son determinantes en la respuesta del desarrollo

gonadal y la fecundidad, esencialmente cuando las especies presentan desoves continuos y las fases de vitelogénesis son cortas (Izquierdo *et al.*, 2001; Lowre-Barbieri *et al.*, 2011). Un papel importante de los esteroides de origen lipídicos (eicosanoides) a partir de ácidos grasos esenciales (AGE) como precursores (Fragoso Machado, 2011) es regular la elaboración de prostaglandinas, que hacen parte esencial de los procesos reproductivos, interviniendo en la síntesis de esteroides como testosteronas (T), estradiol (E2), 11-ketotestosterona (11K), vitelogenina (Vt), etc., las cuales pueden actuar como feromonas importantes en la estimulación de la conducta sexual y sincronizan a ambos sexos en el desove, por tanto, influyen directamente en la fertilización (Lorán-Núñez *et al.*, 2012; Enayatmehr y Jamili, 2013).

Por otra parte, el contenido de los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA n-3) es alto en los huevos de buena calidad y se incorporan a ellos más eficientemente durante la vitelogénesis (Navas *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 2009; Peng *et al.*, 2017). Se ha demostrado también que los PUFA son requeridos en elevados niveles por las larvas de peces marinos (Barroso *et al.*, 2013; Cerqueira y Tsusuki, 2009; Hauville *et al.*, 2016; Hernández-López *et al.*, 2020; Narasimapallavan *et al.*, 2022; Vanacor-Barroso *et al.*, 2017); sin embargo, altos niveles de PUFA n-3 han reducido la fecundidad de la dorada a pesar de un incremento en las cantidades de PUFA n-3 en los huevos, por lo que el

aumento del contenido de AGE no debe tomarse como un criterio particular para evaluar la calidad de los huevos (Watanabe y Kiron, 1995). Por tanto, el conocimiento fisiológico sobre las respuestas neuroendocrinas a través de las hormonas sexuales, que son esteroides capaces de estimular la maduración de los ovocitos en hembras de varias especies de teleósteos (Nieto-Vera *et al.*, 2020), cumple un rol importante en la diferenciación de las gónadas (Yamamoto, 1969). Para el caso de la regulación del proceso reproductivo de hembras y machos hermafroditas, recientemente se ha evidenciado que la actividad de aromatasa, estradiol, K-11 y testosterona está involucrada en el proceso que se efectúa particularmente en el área preóptica (POA) y en el hipotálamo, que son las dos regiones del cerebro encargadas del control y comportamiento reproductivo de los peces (Navarro-Flores *et al.*, 2019). Como ya es sabido, las proteínas son parte estructural del crecimiento y funciones energéticas de los organismos, ya que intervienen como catalizadores de los procesos bioquímicos y la síntesis metabólica en las diferentes etapas de vida.

En el estudio realizado por Ibarra-Castro *et al.* (2011) se utilizaron reproductores de *C. undecimalis*, ubicados en tanques cilíndricos de fibra de vidrio con capacidad de 12 m³ a relación de cinco hembras por tres machos en condiciones de fotoperiodo y temperatura natural, con recambio constante y aireación fuerte. Los reproductores fueron sometidos

dos a una alimentación que empleó una mezcla de 60 % de dieta seca comercial (Fish Breed-M®, INVE Aquaculture, Inc.) y 40 % de carne de pescado, suministrando una ración cada dos días a una tasa del 5 % del peso corporal. Adicionalmente, a cada pez se le suministraron dos suplementos comerciales: una píldora de vitaminas (Equate® adult multivitamin) en tercios y aceite de pescado omega-3 (180 mg DHA y 270 mg EPA, Member's Mark®), introducidos en la mezcla de alimentos dos veces al día por semana. Esta alimentación permitió establecer los cambios que fueron determinantes en la respuesta al desove (Sánchez *et al.*, 2009). Izquierdo *et al.*, (2001) manifestaron que el ácido ascórbico cumple un papel significativo en la reproducción de los salmónidos, en el que se comprobó el alto requerimiento dietético de los reproductores con relación a las menores exigencias presentadas en la etapa de juveniles. Entre los diferentes ingredientes de los piensos, las harinas de sepia, calamar y krill se consideran componentes valiosos de la dieta de los reproductores. En términos de respuesta al desove, los resultados en huevos totales, huevos flotantes, huevos viables y tasas de eclosión revelaron que la dieta de reproductores elaborada con harina de sepia fue superior al resto. De igual manera, para la dorada (*Sparus aurata*) y la lubina (*Dicentrarchus labrax*) se ha logrado una respuesta positiva utilizando harina de sepia con un nivel proteico requerido del 45 % (Watanabe *et al.*,

1984); en contraste, el comportamiento de los reproductores mantenidos con la dieta de bajo nivel proteico y alto en carbohidratos evidenciaron altos niveles de insulina en sangre y bajos niveles de la hormona liberadora de gonadotropina coriónica (GnRH) y de estradiol en la temporada de desove.

Arenas *et al.* (2021) llevaron a cabo un estudio de alimentación para evaluar el efecto de la dieta de carbohidratos en el rendimiento del crecimiento y eficiencias alimenticias, así como la respuesta glucémica y las enzimas digestivas y hepáticas en las especies *C. undecimalis* y *O. chrysurus*. Para ello, se formularon dos dietas que contenían 51,6 % de proteína, 7,9 % de lípidos y 20 % de almidón de maíz (dieta alta en carbohidratos digestivos, HC) o 20 % de salvado de trigo (dieta de control, C), encontrando que el rendimiento no se vio afectado por los carbohidratos de las dietas. La eficiencia alimenticia (FE) y la relación de eficiencia proteica (PER) mejoró en *C. undecimalis* alimentados con la dieta HC; sin embargo, para *O. chrysurus*, FE y PER no se vieron afectados por la dieta HC. El glucógeno hepático y el contenido de lípidos en todo el cuerpo aumentaron en *C. undecimalis*.

El rendimiento del crecimiento no se vio afectado por los carbohidratos de la dieta en ambas especies. La eficiencia alimenticia (FE) y la relación de eficiencia proteica (PER) mejoró en *C. undecimalis* alimentados con la dieta HC; sin embargo, para *O. chrysurus*, FE y PER no se vieron afectados por la dieta HC. El glucóge-

no hepático y el contenido de lípidos en todo el cuerpo aumentaron en *C. undecimalis* alimentados con la dieta HC, pero esto no ocurrió en *O. chrysurus*. La actividad de la amilasa intestinal aumentó en ambas especies con la dieta HC. La glucosa en sangre alcanzó su punto máximo en *C. undecimalis* seis horas después de haber sido alimentado con la dieta HC (7,8 mmol L⁻¹), mientras que el pico de glucosa en *O. chrysurus* se produjo hasta las nueve horas (14,1 mmol L⁻¹). Glucocinasa hepática (GK) la actividad aumentó con la dieta HC en ambas especies de peces. Sin embargo, a nivel molecular, la expresión del ARNm de GK fue mayor en *C. undecimalis* alimentado con la dieta HC; pero para *O. chrysurus*, la expresión de ARNm de GK no difirió entre dietas. Actividades de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PDH) y 6-fosfogluconato deshidrogenasa (6PGDH) aumentaron solo en *C. undecimalis* alimentado con la dieta HC. Aumento de piruvato quinasa (PK) y fructosa-1. La 6-bisfosfatasa (FBPasa) disminuyó en ambas especies alimentadas con la dieta HC. La actividad de la alanina aminotransferasa (ALT) no se vio afectada por dietas experimentales, pero *O. chrysurus* mostró mayor actividad que *C. undecimalis*. Estos resultados sugieren que ambas especies de peces son capaces de adaptarse a una dieta alta en carbohidratos mediante la reorganización del metabolismo de los carbohidratos. Sin embargo, *C. undecimalis* mostró una mayor capacidad para utilizar y almacenar carbohidratos que *O. chrysurus*.

Por otra parte, estudios realizados con especies marinas como el besugo rojo (*Pagrus major*), el jurel (*Seriola quinqueradiata*) (Lim *et al.*, 2018), la platija japonesa (*Paralichthys olivaceus*) (Xi *et al.*, 2022) y el jurel rayado (*Trachurus murphyi*) (Shahidi *et al.*, 2019) demostraron que hay nutrientes determinantes en la calidad del huevo, tal es el caso de la astaxantina cuando es utilizada en una concentración de 30 mg/kg de alimento; de igual manera, los esteres extraídos de pimentón (ácido fólico, carotenos, capsantina, beta carotenos) y el empleo de la harina de calamar suplementados con HUFA (omega 3) han demostrado que cumplen un papel fundamental en el desarrollo gonadal de diferentes peces marinos (Shahidi *et al.*, 2019). Por otra parte, los niveles, calidad y cantidad de proteína bruta afectan fisiológicamente el desempeño del crecimiento, la fecundidad, la viabilidad y la calidad de los huevos. Asimismo, se pueden presentar deformaciones de larvas, huevos en la superficie y afectación en la tasa de eclosión ((El-Gamal *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022). En cuanto al semen de la lubina, se ha evidenciado que el perfil de ácidos grasos guarda una estrecha relación con los ácidos grasos aportados en la dieta (Bell *et al.*, 1996; Martínez-Páramo *et al.*, 2012).

Como la necesidad de elaborar dietas para padrotes reproductores cada día es más exigente y existe una rápida disminución de las capturas de peces de bajo valor comercial o fauna acompañante,

se ha impulsado el empleo de alimentos formulados (balanceados) que prometen ser un remplazo eficiente para las dietas que tradicionalmente se vienen utilizando, como trozos de pescado crudo, y ha disminuido el uso de harina de pescado, reemplazado por fuentes alternativas de proteínas (Gjedrem *et al.* 2012; Arriaga-Hernández *et al.*, 2021). A pesar de que se han planteado nuevas características como indicadores de calidad de las puestas, como marcadores genéticos (Camevali *et al.*, 2001), peso de las cenizas del huevo (Trippel *et al.*, 2000) y pH de fluidos ováricos (Denson *et al.*, 2001), estos métodos costosos pueden complementarse con los tradicionales para definir con más certeza la calidad de la puesta, que finalmente dependerá de una excelente nutrición y de aspectos genéticos heredados de los padres.

Estudios de caso: experiencias en Colombia

El Caribe colombiano cuenta con varias especies de peces marinos con potencial de desarrollo en la piscicultura marina. La Universidad de Magdalena, consciente de la problemática que presentan algunas especies con grado de vulnerabilidad, ha venido trabajando con el róbalo común (*Centropomus undecimalis*), pez que presenta un amplio rango de condiciones ambientales y que se pueden adaptar tanto a ambientes de aguas dulces como estuarinos y ma-

rinios, sumado a su gran tolerancia a niveles bajos de oxígeno (2 mg/l) y temperaturas (20 °C). Estas características hacen del róbalo una especie con altas potencialidades para el desarrollo de la piscicultura marina en la región.

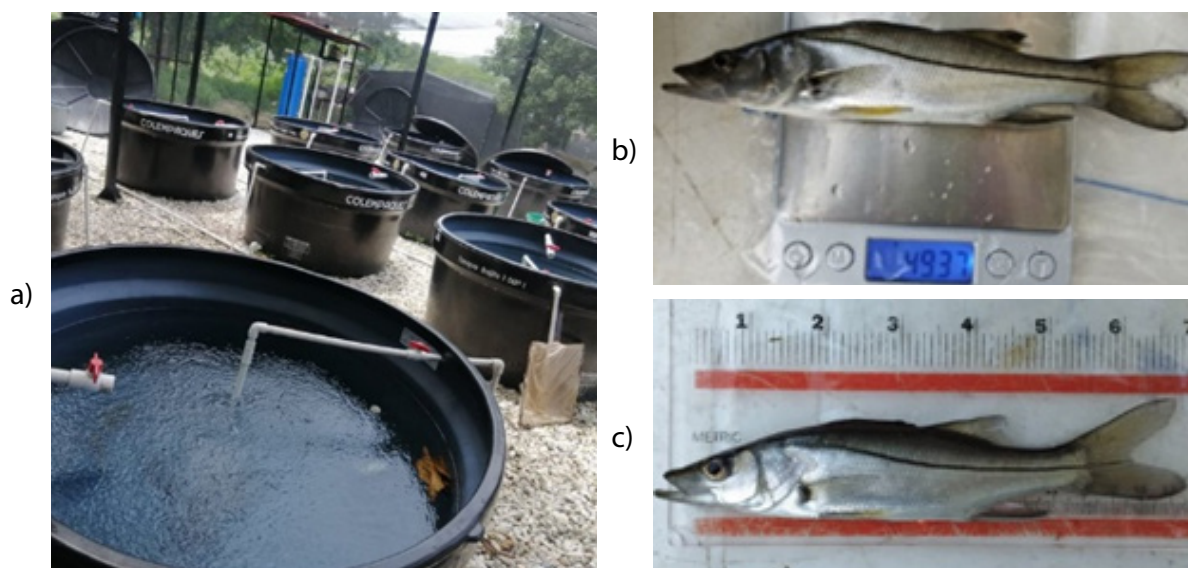
De igual manera, el Centro de Investigaciones Educación y Recreación (CEINER) y el Centro de Investigación de la Acuicultura en Colombia (CENIACUA) han trabajado en especies como pargos, meros y cobias, logrando avances enfocados en aspectos reproductivos y de cultivo. Todo ello con el fin de que Colombia pueda concretar paquetes tecnológicos que garanticen una oferta sostenible de semilla para su producción, permitiendo así minimizar el impacto en las poblaciones silvestres, una vez se cierre el ciclo y se desarrollen sistemas de producción ecológicamente sostenibles y amigables con el ambiente. Por tal razón, uno de los aspectos relevantes que se deben considerar son los nutricionales; es por esto que a pesar de que en el país no se cuenta con empresas que se dediquen a la elaboración de alimentos balanceados para el cultivo de especies marinas, sí es importante destacar los esfuerzos que se vienen realizando en estudios de actividad enzimática con diferentes dietas balanceadas para especies marinas a fin de entender cómo se lograría la mejor asimilación y crecimiento al emplear alimentos con harinas de origen vegetal en remplazo parcial de harinas de origen animal, y, con

ello, disminuir la contaminación por elevados aportes de nitrógeno proteico en las heces y aguas.

En Colombia, los reproductores del pargo palmero *Lutjanus analis* capturados de medio natural se han alimentado cada dos días empleando calamar, pescado y camarón congelados, con una mezcla de alimento balanceado al 47 % de PB y suplemento vitamínico y mineral. Evaluando dos grupos de reproductores con ciclo natural (control) y ciclo artificial (foto periodo) al inicio en ambos ciclos, las hembras presentaron estado de madurez gonadal grado I y II ($\varnothing=50 \pm 14 \mu\text{m}$), según la escala de González y Lugo (1997); pasados seis meses, se detectó un incremento en el diámetro medio de los ooci-

tos de las tres hembras del ciclo artificial, con valores de 122 ± 76 , 86 ± 40 y $122 \pm 87 \mu\text{m}$ (Botero y Castaño, 2005). Gaitán *et al.* (2023) preliminarmente han logrado avances en róbalo (*C. undecimalis*), cuyos juveniles fueron alimentados utilizando dietas con diferentes porcentajes de remplazo (T 0 %, T 35 % y T 55 %) de harina de pescado por harina de soya. La densidad empleada fue de 16 peces/tanque. Cada tratamiento se realizó por triplicado en tanques de 1000 L de capacidad, durante un tiempo de 120 días. La alimentación se suministró dos veces al día, al 5 % de la biomasa y a aparente saciedad. Se realizaron biometrías cada 20 días (Figura 2) y se registraron parámetros diarios de temperatura, pH, oxígeno y conductividad.

Figura 2. Sistemas de mantenimiento de juveniles de *Centropomus undecimalis*



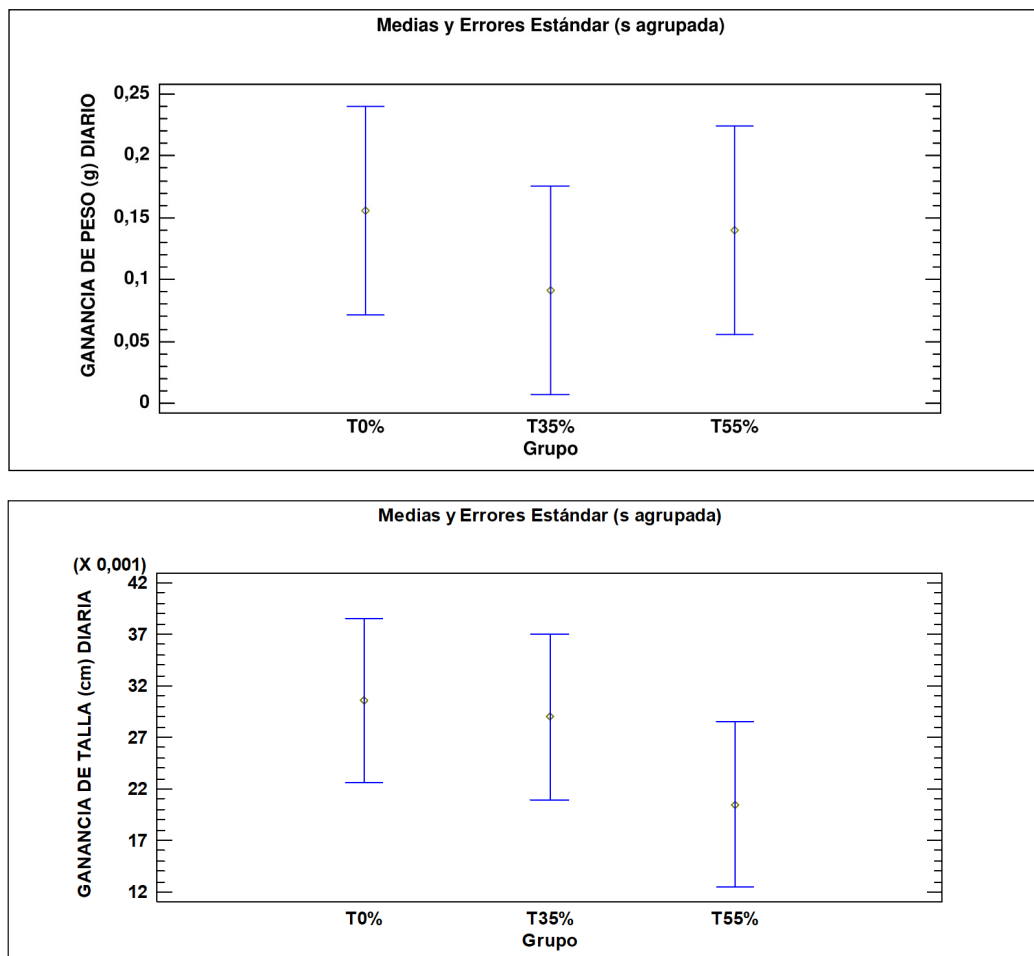
Notas: a) infraestructura b) registro de peso c) registro de talla durante biometrías. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Preliminarmente, se determinó que el incremento en talla y peso no presentó diferencias significativas en el $P= 0,8605$ y $P= 0,6710$ entre los tratamientos evaluados (Gaitán *et al.*, 2023) (Figura 3). Sin embargo, teniendo en cuenta que la dieta T 0 % de remplazo de harina de pescado por harina de soya presenta un mayor aporte de nitrógeno proteico al medio, vale la pena replantear su uso, considerando

la alta relación costo-beneficio de este tipo de cultivos.

Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro los rangos aceptables para el cultivo de la especie, registrado temperaturas de 26 a 34 °C, oxígeno disuelto de 4,1 a 6,9 mg L⁻¹, pH de 6,9 a 7,5 y conductividad de 1410,05 µS/m a 1430,20 µS/m para el normal crecimiento del róbalo, según lo reportado (Ramon Mogollón y Pallas García, 2013; Zarza-Meza *et al.*, 2006).

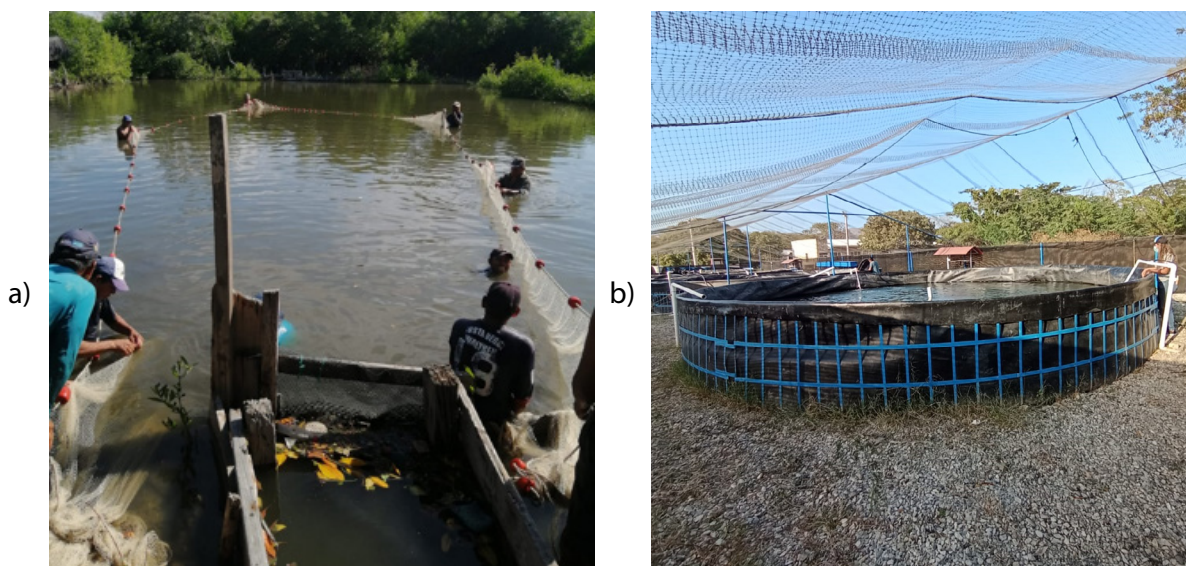
Figura 3. Comparación de medias de la ganancia en peso y talla de juveniles de róbalo alimentados con dietas que utilizaron diferentes porcentajes de remplazo de harina de pescado por harina de soya



Polonia-Rivera *et al.* (2017) evaluaron el desempeño del crecimiento de juveniles de *C. undecimalis* capturados en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), Caribe colombiano, y cultivados en estanque en tierra con el suministro de tres dietas diferentes D1: alimento comercial para truchas Truchina, 45 % de proteína; D2: alimento comercial Cobia, 50 % de proteína, y D3: pescado fresco (*Opistho-*

nema oglinum) 17,52 % de proteína. Los animales fueron mantenidos en agua dulce en las instalaciones de la Granja Experimental de la Universidad del Magdalena. La salinidad del agua osciló entre 0 y 0,5 UPS, y se registraron diariamente parámetros de oxígeno, temperatura y pH de los sitios de cultivo. A continuación, se presenta maniobra de captura en medio natural y sistemas de cultivos (Figura 4).

Figura 4. Captura y cultivo de juveniles de róbalo



Notas: a) Captura en medio natural, b) Sistema de tanques para el cultivo de juveniles de róbalo, Granja Experimental Universidad del Magdalena. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Los juveniles de róbalo fueron distribuidos aleatoriamente y por triplicado en un estanque en tierra dividido en 9 corrales de 50 m² iniciando con tallas y pesos de $34,2 \pm 4,6$ cm y $282,8 \pm 11,5$ g respectivamente, a una densidad de 12 peces/corral. Se suministraron tres dietas [D1: alimento comercial para trucha al 45 % de proteína; D2: alimento comercial

para cobia, 50 % de proteína, y D3: pescado fresco, machuelo (*Opisthonema oglinum*), 17,52 % de proteína]. El alimento se dosificó en dos raciones diarias al 3 % de la biomasa. Se realizaron biometrías cada 20 días y se evaluó: ganancia de peso, incremento en talla, relación Longitud-Peso, Factor de Conversión Alimenticia (FCA), Factor de Condición (K), Tasa

Específica de Crecimiento (SGR) y Supervivencia (S), durante cuatro meses. Los resultados fueron evaluados con un ANOVA simple, encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) mediante la aplicación de la prueba de la Mediana de Mood. Se obtuvieron los mejores resultados con la dieta D2, con valores promedios de Peso final=630,2±29,6 g SGR = 0,65±0,09 g/día; FCA=3,76; K=0,81±0,06. Mientras que los resultados obtenidos con los tratamientos D1 y D3 fueron: Pf=436,1±82,9 y 472,0±21,7 g SGR=0,31±0,33 y 0,44±0,13 g/día;

FCA=12,0 y 3,05; K=0,73±0,04 y 0,76±0,05, respectivamente. Se comprobó que la relación Longitud-Peso presentó un crecimiento isométrico de 3,2. La supervivencia fue aceptable, con valores de D1=51,4 %, D2=50 % y D3=77,8 %, sin diferencia estadística entre los tratamientos. Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro del rango recomendado en acuicultura para su adecuado desarrollo; los niveles de dureza y alcalinidad fueron de 600±13,0 y 283±5,2 mg/L, respectivamente, considerándose muy altos.

Tabla 1. Resultados de crecimiento de juveniles de róbalo (*Centropomus undecimalis*) alimentados con diferentes dietas comerciales, en estanques en tierra y agua dulce, durante un periodo de cuatro meses

Tratamiento	D1	D2	D3
P _i (g)	286.8±10.5	286.7±3.8	276.0±11.7
P _f (g)	436.1±82.9 ^a	630.2±29.6 ^b	472.0±21.7 ^a
L _i (cm)	34.3±0.31	34.2±0.52	34.1±0.47
L _f (cm)	38.8±2.5	42.1±0.53	39.0±0.81
FCA	12.0 ^c	3.76 ^b	3.05 ^b
K	0.73±0.04 ^a	0.81±0.06 ^b	0.76±0.05 ^a
SGR (g/día)	0.31±0.33	0.65±0.09	0.44±0.13

Los avances que ha tenido el país en el desarrollo de la piscicultura de *C. undecimalis* demuestran que una especie con gran potencial para la acuicultura en el territorio puede ser cultivada en estanques de agua dulce con alta dureza y ambientes salobres y marinos. Se observó durante la aclimatación una alta tolerancia al estrés

y a los cambios de salinidad al momento de bajar o subir la salinidad para adaptarlos a las necesidades de agua salobre o marina. Por otra parte, si bien la especie se adapta relativamente en poco tiempo al consumo de alimento concentrado de acuerdo con sus requerimientos, los aportes sobre los aspectos de la nutrición son importantes,

considerando que son escasos los estudios realizados en el país y a nivel mundial que elaboren dietas específicas para el cultivo de la especie y que aprovechen mejor el nitrógeno proteico, incorporando además el uso de harinas vegetales.

Finalmente, se debe ser cuidadoso con la disminución drástica o el remplazo absoluto por alimentos alternativos, que por desconocimiento lleven a afectar el desarrollo y la salud de los peces. De igual manera, el aceite de pescado (FO) es un importante insumo comercial de ácidos grasos esenciales en la piscicultura marina,

por lo tanto, eliminarlos podría convertirse en un inconveniente para la producción de biomasa en los peces marinos (Oliva-Teles *et al.*, 2022). No obstante, se deben brindar alternativas alimentarias que puedan lograr un mejor equilibrio en la rentabilidad. En cuanto al cultivo de róbalo, será mucho más rentable si se cuenta con un alimento disponible y de bajo costo en el mercado, que cumpla con el requerimiento energético de la especie, que genere utilidad económica y una mejor relación costo-beneficio, que permita alcanzar un punto de equilibrio entre la inversión y la producción.

Referencias

- Abasubong, K. P., Cheng, H. H., Li, Z. Q., Wang, C. C., Huang, Y. Y., Liu, W. B., Zhang, D. D., Zhu, X.H. y Jiang, G. Z. (2021). Effects of replacing fish meal with plant proteins at different dietary protein levels on growth and feed intake regulation of juvenile channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture Research*, 2021, 00, 1-12. <https://doi.org/10.1111/are.15325>
- Ajiboye, O. O., Yakubu, A. F., Adams, T. E., Olaji, E. D. y Nwogu, N. A. (2011). A review of the use of copepods in marine fish larviculture. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21, 225-246. <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9169-3>
- Alajmi, F. y Zeng, C. (2014). The effects of stocking density on key biological parameters influencing culture productivity of the calanoid copepod, *Parvocalanus crassirostris*. *Aquaculture*, 434, 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.08.029>
- Alanes, O. L. E. (2020). Alimentación y nutrición en peces de agua dulce. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 4(2), 604-608. <https://agrovet.umsa.bo/index.php/AGV/article/view/43>
- Alvarez-Lajonchère, L. y Taylor, R. G. (2003). Economies of scale for juvenile production of common snook (*Centropomus undecimalis* Bloch). *Aquaculture Economics & Management*, 7(5-6), 273-292. <https://doi.org/10.1080/13657300309380345>.
- Alvarez-Lajonchère, L. (2006). Nutrición de reproductores de peces marinos. En L. E. Cruz Suárez, D. R. Marie, M. Tapia Salazar, M. G. Nieto López, D. A. Villarreal Cavazos, A. C. Puello Cruz y A. García Ortega (Eds.), *Avances en Nutrición Acuicola* (pp. 1-9). VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-17 noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/157/155>

- Araújo, I., Silva-Falcão, E. C. y Severi, W. (2011). Buccal apparatus and gastrointestinal tract dimensions associated to the diet of early life stages of *Centropomus undecimalis* (Centropomidae, Actinopterygii). *Iheringia. Série Zoologia*, 101, 85-92. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212011000100012>
- Arenas, M., Alvarez-Gonzalez, M., Barreto, A., Sanchez, A., Suarez-Bautista, J., Escalante, K. y Gaxiola, G. (2021). Effect of dietary carbohydrates on growth performance, feed efficiency and glucose metabolism in common snook (*Centropomus undecimalis*) and yellowtail snapper (*Ocyurus chrysurus*) juveniles. *Aquaculture*, 543, 736958. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736958>
- Arriaga-Hernández, D., Hernández, C., Martínez-Montaña, E., Ibarra-Castro, L., Lizárraga-Velázquez, E., Leyva-López, N. y Chávez-Sánchez, M. C. (2021). Fish meal replacement by soybean products in aquaculture feeds for white snook, *Centropomus viridis*: Effect on growth, diet digestibility, and digestive capacity. *Aquaculture*, 530, 735823. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735823>
- Ballesteros-Redondo, L., Palm, H. W., Bährs, H., Wacker, A. y Bischoff, A. A. (2023). Effect of microalgae diets on population performance and fatty acids composition of *Apocyclops panamensis* (Marsh, 1913) (Cyclopoida, Copepoda). *Aquaculture Reports*, 29, 101535. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101535>
- Barroso, M., De Carvalho, C., Antoniassi, R. y Cerqueira, V. R. (2013). Use of the copepod *Acartia tonsa* as the first live food for larvae of the fat snook *Centropomus parallelus*. *Aquaculture*, 388-391, 153-158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.022>
- Bell, M., Dick, J. R., Thrush, M. y Navarro, J. C. (1996) Decreased 20:4n – 6/20:5n-3 ratio in sperm from cultured sea bass, *Dicentrarchus labrax*, broodstock compared with wild fish. *Aquaculture*, 144(1-3), 189-199. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01311-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01311-7)
- Boonyaratpalin, M. (1997). Nutrient requirements of marine food fish cultured in Southeast Asia. *Aquaculture*, 151(1-4), 283-313. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01497-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01497-4)
- Botero, J. y Castaño, F. (2005). Inducción de la madurez gonadal del pargo palmero *Lutjanus analis* (Pisces: Lutjanidae) mediante la aplicación de un fototermoperiodo artificial de acondicionamiento. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 34(1), 69-79. <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v34n1/v34n1a03.pdf>
- Bowyer, J. N., Qin, J. G. y Stone, D. A. (2013). Protein, lipid and energy requirements of cultured marine fish in cold, temperate and warm water. *Reviews in Aquaculture*, 5(1), 10-32. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01078.x>
- Burbano, M. F., Torres, G. A., Prieto, M. J., Gamboa, J. H. y Chapman, F. A. (2020). Increased survival of larval spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) when fed with the copepod *Cyclopina* sp. and *Artemia* nauplii. *Aquaculture*, 519, 734912. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734912>

- Carnevali, O., Mosconi, G., Cambi, A., Ridolfi, S., Zanuy, S. y Polzonetti-Magni, A. M. (2001). Changes of lysosomal enzyme activities in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) eggs and developing embryos. *Aquaculture*, 202(3-4), 249-256. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00775-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00775-X)
- Carnevali, O., Vivo, L., Sulpizio, R., Gioacchini, G., Olivotto, I., Silvi, S. y Cresci, A. (2006). Growth improvement by probiotic in European juveniles (*Dicentrarchus labrax* L.), with particular attention to IGF-1, myostatin and cortisol gene expression. *Aquaculture*, 258(1-4), 430-438. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.025>
- Catacutan, M. R., Pagador, G. E. y Teshima, S. (2001). Effects of dietary protein and lipid levels and protein to energy ratios on growth, survival and body composition of the mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal, 1755). *Aquaculture Research*, 32(10), 811-818. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00618.x>
- Catacutan, M. R. y Coloso, R. M. (1995). Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 131(1-2), 125-133. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004484869400358U>
- Cavrois-Rogacki, T., Rolland, A., Migaud, H., Davie, A. y Monroig, O. (2020). Enriching *Artemia* nauplii with selenium from different sources and interactions with essential fatty acid incorporation. *Aquaculture*, 520(2020), 734677. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734677>
- Cerqueira, V. R. y Tsuzuki, M. Y. (2009). A review of spawning induction, larviculture, and juvenile rearing of the fat snook, *Centropomus parallelus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 35, 17-28. <https://doi.org/10.1007/s10695-008-9245-y>
- Chinnery, F. E. y Williams, J. A. (2004). The influence of temperature and salinity on *Acartia* (Copepoda: Calanoida) nauplii survival. *Marine Biology*, 145, 733-738. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1354-2>
- Concha-Frías, B., Alvarez-González, C. A., Gaxiola, G., Chiappa, X., Sánchez-Zamora, A., Martínez-García, R., Camarillo-Coop, S., Peña, E., Jiménez-Martínez, L. D. y De la Cruz-Alvarado, F. J. (2018). Dietary protein requirement in common snook (*Centropomus undecimalis*) juveniles reared in marine and brackish water. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(13), 45-54. <https://doi.org/10.19136/era.a5n13.1393>
- Correa-Helbrum, J., Cuello, F., Mármol, D., Fonseca, S., Zúñiga, H., Zambrano, E. Altamar, J. y Jiménez, S. (2022). *Composición de las capturas e indicadores biológico-pesqueros estimados a partir de muestreos a bordo de las principales flotas que operan en el Pacífico y el Caribe colombiano, período febrero a diciembre de 2022*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Santa Marta, 107p. <http://sepec.aunap.gov.co/Home/VerPdf/114>
- Das, K.M., Mohanty, S. y Sarkar, S., (1991). Optimum dietary protein to energy ratio for Lubeo rohita fingerlings. En S. de Silva (Ed.), *Fish Nutrition Research in Asia* (pp. 69-74). Proceedings, Fourth Asian Fish Nutrition Workshop, Special Publication 5, Asian Fisheries Society, Philippines.

- Das, P., Mandal, S. C., Bhagabati, S., Akhtar, M. y Singh, S. K. (2012). Important live food organisms and their role in aquaculture. En J. K. Sundaray, M. Sukham, R.K. Mohanty, S.K. Otta (Eds.). *Frontiers in Aquaculture* (pp. 69-86). Narendra Publishing. https://www.researchgate.net/publication/266742594_Important_live_food_organisms_and_their_role_in_aquaculture
- De Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J. A. y Vandeputte, M. (2018). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Reviews in Aquaculture*, 10(4), 833-851. <https://doi.org/10.1111/raq.12202>
- Dey, T., Ghosh, P. K., Nandi, S. K., Chowdhury, G., Mian, S. y Uddin, M. S. (2022). A Review on n-3 HUFA and Live Food Organism for Marine Fish Larvae Nutrition. *American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology*, 6(3), 88-102. <https://doi.org/10.54536/ajaset.v6i3.770>
- Drillet, G., Frouël, S., Sichlau, M. H., Jepsen, P. M., Højgaard, J. K., Joarder, A. K. y Hansen, B. W. (2011). Status and recommendations on marine copepod cultivation for use as live feed. *Aquaculture*, 315(3-4), 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.027>
- El-Gamal, M. M., Othman, S. I., Abdel-Rahim, M. M., Mansour, A. T., Alsaqufi, A. S., El Atafy, M. M., & Allam, A. A. (2020). Palaemon and artemia supplemented diet enhances sea bass, *Dicentrarchus labrax*, broodstock reproductive performance and egg quality. *Aquaculture reports*, 16, 100290.
- El-Sayed, A.M. y Teshima, S., (1992). Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103(1), 55-63. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90278-S](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90278-S)
- El-Tohamy, W., Qin, J., Abdel-Aziz, N., El-Ghobashy, A. y Dorgham, M. (2021). Suitable algal species and density for the culture of copepod *Gladioferens imparipes* as a potential live food for fish larvae. *Aquaculture International*, 29, 105-125. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00614-0>
- Engle, C. R., Boldt, N. C., van Senten, J., & Schwarz, M. (2024). Estimating growout production costs of commercial-scale marine finfish production in southern tier US states. *Journal of the World Aquaculture Society*, e13075. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/jwas.13075>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Fragoso Machado, M. R. (2011). *Caracterização morfológica e bioquímica do sistema digestório e identificação por isótopos estáveis de rôbalo peva e flexa selvagens e de cativeiro*. [Tese doutorado, Universidade Estadual Paulista, Centro de Aqüicultura, São Paulo, Brasil]. <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/100190>

- Franco, S. C., Augustin, C. B., Geffen, A. J. y Dinis, M. T. (2017). Growth, egg production and hatching success of *Acartia tonsa* cultured at high densities. *Aquaculture*, 468, 569-578. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.044>
- Gaitán, S. I., Villamizar, N., Cotes, L. y Blanco, G. (2023, del 18 al 21 de abril). Evaluation of the growth of juveniles of *Centropomus undecimalis* using diets with replacement of fishmeal by soybean meal [Ponencia]. *Congreso Latin American Caribbean Aquaculture LAQUA 2023*. Capítulo Latinoamericano y del Caribe de la Sociedad Mundial de Aquaculture (World Aquaculture Society), Panamá.
- Donald Jr., D. L. y Wilson, R. P. (1976). Optimum protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *The Journal of Nutrition*, 106(9), 1368-1375. <https://doi.org/10.1093/jn/106.9.1368>
- Ghaderpour, S. y Estevez, A. (2020). Effect of short-term rotifer enrichment with marine phospholipids on growth, survival, and composition of meager (*Argyrosomus regius*) larvae. *Frontiers in Marine Science*, 7, 579002. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.579002>
- Giovanni, B., Apolinar, S. M., Manuel, M. B. J. y Leonardo, I. C. (2022). Technical-economic viability of white snook *Centropomus viridis* culture in floating cages in a coastal lagoon in northwestern Mexico. *Aquaculture Reports*, 23, 101048. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101048>
- Gjedrem, T., Robinson, N. y Rye, M. (2012). The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: a review. *Aquaculture*, 350, 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.008>
- Glencross, B. (2006). The nutritional management of barramundi, Lates calcarifer – a review. *Aquaculture Nutrition*, 12(4), 291-309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00410.x>
- González, L. W. y T. Lugo. (1997). Ovogénesis de *Lutjanus purpureus* (Poey 1867, Pises: Lutjanidae) de la región oriental de Venezuela. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 26(1), 53-60. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1997.26.0.363>
- Gracia-López, V., García-Galano, T., Gaxiola-Cortés, G. y Pacheco-Campos, J. (2003). Effect of dietary protein level and commercial feeds on growth and feeding of juvenile common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). *Ciencias Marinas*, 29(4b), 585-594. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802003000500002&lng=es&tlng=
- Grijalba-Bendeck, M., Leal-Flórez, J., Bolaños-Cubillos, N. y Acero, A. (2017). *Centropomus undecimalis*. En Chasqui, L., Polanco, A., Acero, A., Mejía-Falla, P. A., Navia, A., Zapata, L. F. y Caldas, J. P. (Eds.), *Libro rojo de peces marinos de Colombia* (pp. 224-227). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Serie de Publicaciones Generales de INVEMAR # 93. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/libro-rojos-peces-marinos-colombia-2017.pdf>

- Gutiérrez-Espinosa, M. C. y Garzón, J. S. V. (2019). Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce. *Revista politécnica*, 15(30), 82-93. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a8>
- Hagiwara, A., Wullur, S., Marcial, H. S., Hirai, N. y Sakakura, Y. (2014). Euryhaline rotifer *Proales similis* as initial live food for rearing fish with small mouth. *Aquaculture*, 432, 470-474. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.034>
- Hansen, B. W. (2017). Advances using copepods in aquaculture. *Journal of Plankton Research*, 39(6), 972-974. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbx057>
- Hart, S. D., Barrows, F. T., Dabrowski, K., Dasgupta, S., Garling, D. L., Hardy, R. W., Malison, J. A., Skonberg, D. I., Weeks, C. y Brown, P. B. (2007). *Soybean antinutritional factors and their relative importance in limiting the use of soybean meal in salmonid diets*. Purdue University Department of Forestry and Natural Resources. West Lafayette, 688 Indiana 47907-2061, EE. UU. https://ussec.org/wp-content/uploads/2019/10/siasalmonidtechbull_-1.pdf
- Hassan, M. M., El Zowalaty, M. E., Lundkvist, Å., Järhult, J. D., Nayem, M. R. K., Tanzin, A. Z. y Ashour, H. M. (2021). Residual antimicrobial agents in food originating from animals. *Trends in food science & technology*, 111, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.075>
- Hauville, M. R., Main, K. L., Migaud, H. y Gordon Bell, J. (2016). Fatty acid utilization during the early larval stages of Florida pompano (*Trachinotus carolinus*) and Common snook (*Centropomus undecimalis*). *Aquaculture Research*, 2014, 1-6. <https://doi.org/10.1111/are.12602>
- Henken, A. M., Machiels, M. A., Dekker, W. y Hogendoorn, H. (1986). The effect of dietary protein and energy content on growth rate and feed utilization of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, 58(1-2), 55-74. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90156-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90156-0)
- Hernández López, I. A. (2020). *Caracterización parcial de enzimas digestivas en larvas y juveniles de róbalo blanco del pacífico Centropomus viridis* [Tesis de maestría en Ciencias Ambientales, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco]. https://ri.ujat.mx/jspui/bitstream/200.500.12107/3843/1/1_Tesis_MCA_Hernandez_Iris_Sep2020.pdf
- Hleap Zapata, J. I. y Gutiérrez Castañeda, C. (2017). Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria. -Una revisión. *Acta Agronómica*, 66 (3), 311-322. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52595>
- Ibarra-Castro, L., Alvarez-Lajonchère, L., Rosas, C., Palomino-Albarrán, I. G., Holt, G. J. y Sanchez-Zamora, A. (2011). GnRHa-induced spawning with natural fertilization and pilot-scale juvenile mass production of common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). *Aquaculture*, 319(3-4), 479-483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.014>

- Imentai, A., Yanes-Roca, C., Steinbach, C. y Policar, T. (2019). Optimized application of rotifers *Brachionus plicatilis* for rearing pikeperch *Sander lucioperca* L. larvae. *Aquaculture International*, 27, 1137-1149. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00420-3>
- Izquierdo, M.S., Fernández-Palacios, H. y Tacon, A.G.J. (2001). Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*, 197 (1-4), 25-42. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00581-6)
- Jatobá, A. (2008) Utilização de probiótico em sistema de policultivo de tilápias com camarões marinhos. [Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis]. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91887>
- Jatobá, A., Vieira, F. D. N., Buglione Neto, C., Silva, B. C., Pedreira Mouriño, J. L., Jerônimo, G. T., Dotta, G. y Martins, M. L. (2008) Utilização de bactérias ácido lácticas isoladas do trato intestinal de tilápia-do-nilo como probiótico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(9), 1201-1207.
- Joshua, W. J., Kamarudin, M. S., Ikhsan, N., Yusoff, F. M. y Zulperi, Z. (2022). Development of enriched *Artemia* and *Moina* in larviculture of fish and crustaceans: a review. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(2), 144-157. <http://dx.doi.org/10.3856/vol50-issue2-fulltext-2840>
- Kadhar, A., Kumar, A., Ali, J. y John, A. (2014). Studies on the survival and growth of fry of *Catla catla* (Hamilton, 1922) using live feed. *Journal of Marine Sciences*, 2014, ID 842381. <https://doi.org/10.1155/2014/842381>
- Kandathil Radhakrishnan, D., AkbarAli, I., Schmidt, B. V., John, E. M., Sivanpillai, S. y Thazhakot Vasunambesan, S. (2020). Improvement of nutritional quality of live feed for aquaculture: An overview. *Aquaculture Research*, 51(1), 1-17. <https://doi.org/10.1111/are.14357>
- Kline, M. D. y Laidley, C. W. (2015). Development of intensive copepod culture technology for *Parvocalanus crassirostris*: optimizing adult density. *Aquaculture*, 435, 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.022>
- Kousoulaki, K., Albrektsen, S., Langmyhr, E., Olsen, H. J., Campbell, P. y Aksnes, A. (2009). The water soluble fraction in fish meal (stickwater) stimulates growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given high plant protein diets. *Aquaculture*, 289(1-2), 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.12.034>
- Lee, C.-S., O'Bryen, P. J. y Marcus, N. H. (2008). *Copepods in aquaculture*. Blackwell Publishing.
- Li, K. y Olsen, Y. (2015). Effect of enrichment time and dietary DHA and non-highly unsaturated fatty acid composition on the efficiency of DHA enrichment in phospholipid of rotifer (*Brachionus Cayman*). *Aquaculture*, 446, 310-317. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.005>

- Lim, K. C., Yusoff, F. M., Shariff, M. y Kamarudin, M. S. (2018). Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 10(3), 738-773. <https://doi.org/10.1111/raq.12200>
- Lorán-Núñez, R. M., Martínez-Isunza, F. R., Valdez-Guzmán, A. J., Garduño-Dionate, M. y Martínez-Lorán, E. R. (2012). Reproducción y madurez sexual del róbalo prieto (*Centropomus poeyi*) y róbalo blanco (*C. undecimalis*) en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz (2005-2007). *Ciencia Pesquera*, 20(1), 49-64.
- Lowder, S. K., Skoet, J. y Singh, S. (2014). *What do we really know about the number and distribution of farms and family farms in the world? Background paper for The State of Food and Agriculture 2014*. ESA Working Paper núm. 14-02. FAO.
- Lowerre-Barbieri, S. K., Ganas, K., Saborido-Rey, F., Murua, H. y Hunter, J. R. (2011). Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries*, 3(1), 71-91. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.556932>
- Luo, X., Li, C. y Huang, X. (2019). Effect of diet on the development, survival, and reproduction of the calanoid copepod *Pseudodiaptomus dubia*. *Journal of Oceanology and Limnology*, 37(5), 1756-1767. <https://doi.org/10.1007/s00343-019-8214-x>
- Mæhre, H., Hamre, K. y Elvevoll, E.O. (2013). Nutrient evaluation of rotifers and zooplankton: feed for marine fish larvae. *Aquaculture Nutrition*, 19(3), 301-311. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00960.x>
- Martínez-Páramo, S., Diogo, P., Dinis, M. T., Herráez, M. P., Sarasquete, C. y Cabrita, E. (2012). Sea bass sperm freezability is influenced by motility variables and membrane lipid composition but not by membrane integrity and lipid peroxidation. *Animal Reproduction Science*, 131(3-4), 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.03.008>
- Martinez-Silva, M. A., Audet, C., Winkler, G. y Tremblay, R. (2018). Prey quality impact on the feeding behavior and lipid composition of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) larvae. *Aquaculture and Fisheries*, 3(4), 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.06.003>
- Masumoto, T., Ruchimat, T., Ito, Y., Hosokawa, H. y Shimeno, S. (1996) Amino acid availability values for several 682 protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture*, 146(1-2), 109-119. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01364-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01364-6)
- Merrifield, D.L., Olsen, R.E., Myklebust, R. y Ringø, E., (2011). *Dietary Effect of Soybean (Glycine max) Products on Gut Histology and Microbiota of Fish, Soybean and Nutrition*. En Hany El-Shemy (Ed.) InTech. <http://www.intechopen.com/books/soybean-and-nutrition/dietary-effect-of-soybeanglycine-max-products-on-gut-histology-and-microbiRamos>
- Mogollón, C. y Palas García, L. (2013). *Crecimiento, supervivencia y porcentaje de linfocitos en Centropomus sp. (Robalo) alimentado con tres dietas* [Tesis de gra-

- do, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/159/TESIS%20-%20RAMOS%20Y%20PALAS.pdf?sequence=1>
- Munk, P. y Nielsen, T. G. (1994). Trophodynamics of the plankton community at Dogger Bank: predatory impact by larval fish. *Journal of Plankton Research*, 16(9), 1225-1245. <https://doi.org/10.1093/plankt/16.9.1225>
- Narasimapallavan, I. G., Ebeneezar, S., Vijayagopal, P., Linga Prabu, D., Sajina, K., Sharma, S., Anikuttan, K. (2022). Nutrigenomics tools to address the emerging issues in marine fish larviculture. En D. Dayal y S. Mangalassery, M. (Eds.), *Advances in Agricultural, Animal and Fisheries* (pp. 20-29). ZNAN Publishers for Society for Technology, Environment, Science & People Sciences.
- National Research Council [NRC]. (1993). *Nutrient Requirements of Fish*. The National Academies Press.
- Navarro-Flores, J., Ibarra-Castro, L., Martinez-Brown, J. M. y Zavala-Leal, O. I. (2019). Hermaphroditism in teleost fishes and their implications in commercial aquaculture. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(1), 1-10. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.1.1427>
- Navas, J. M., Bruce, M., Thrush, M., Farndale, B. M., Bromage, N., Zanuy, S., Carrillo, M., Bell, J. G. y Ramos, J. (1997). The impact of seasonal alteration in the lipid composition of broodstock diets on egg quality in the European sea bass. *Journal of Fish Biology*, 51, 760-773. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01997.x>
- Nematipour, G. R., Brown, M. L. y Gatlin, D. M., (1992). Effects of dietary energy: protein ratio on growth characteristics and body composition of hybrid striped bass, *Morone chrysops* X *M. saratilis*. *Aquaculture*, 107 (4), 359-368. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90083-W](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90083-W)
- Nieto-Vera, M. T., Rodríguez-Pulido, J. A. y Góngora-Orjuela, A. (2020). ¿Qué sabemos de los esteroides sexuales y las gonadotropinas en la reproducción de teleósteos neotropicales? *Orinoquia*, 24(1), 52-63. <https://doi.org/10.22579/20112629.601>
- OECD/FAO. (2022). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>
- Oliva-Teles, A., Enes, P., Couto, A. y Peres, H. (2022). Replacing fish meal and fish oil in industrial fish feeds. En D. Allen Davis (Ed.), *Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (3a ed.) (pp. 231-268). Woodhead Publishing <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00011-4>
- Pan, Y. J., Dahms, H. U., Hwang, J. S. y Souissi, S. (2022a). Recent trends in live feeds for marine larviculture: a mini review. *Frontiers in Marine Science*, 9, 864165. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.864165>

- Pan, Y. J., Souissi, S. y Jepsen, P. M. (2022b). Live feed for early ontogenetic development in marine fish larvae. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1115275. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1115275>
- Paul, B., Chang, Y. C., Lin, Y. Y., Hsu, T. H. y Pan, Y. J. (2023). Effects of temperature and microalgal diet on the fecundity, population growth and fatty acid composition of *Pseudodiaptomus ishigakiensis* (Calanoid, Copepoda). *Aquaculture Reports*, 32, 101715. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101715>
- Peisker, M. (2001). Manufacturing of soy protein concentrate for animal nutrition. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 54, 103-107. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=1600017>
- Peng, S., Shi, Z., Gao, Q., Zhang, C. y Wang, J. (2017). Dietary n-3 LC-PUFA s affect lipoprotein lipase (LPL) and fatty acid synthase (FAS) activities and mRNA expression during vitellogenesis and ovarian fatty acid composition of female silver pomfret (*Pampus argenteus*) broodstock. *Aquaculture nutrition*, 23(4), 692-701. <https://doi.org/10.1111/anu.12436>
- Polonia-Rivera, C., Gaitán, S., Chaparro-Muñoz, N. y Villamizar, N. (2017). Effect of three diets in the experimental culture of the common snook (*Centropomus undecimalis* Bloch, 1792). *Revista MVZ Córdoba*, 22(3). 6287-6295. <http://dx.doi.org/10.21897/rmvz.1133>
- Prieto, M. y Atencio, V. J. R. M. C. (2008). Zooplankton en la larvicultura de peces neotropicales. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2), 1415-1415. <https://doi.org/10.21897/rmvz.401>
- Prieto, M., Castaño, F., Sierra, J., Logato, P. y Botero, J. (2006). Alimento vivo en la larvicultura de peces marinos: copépodos y mesocosmos. *Revista MVZ Córdoba*, 11(Supl), 30-36. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1042>
- Ramlee, A., Chembaruthy, M., Gunaseelan, H., Yatim, S., Taufek, H. y Rasdi, N. (2021). Enhancement of nutritional value on zooplankton by alteration of algal media composition: A review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 869 (2021) 012006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/869/1/012006/meta>
- Rasdi, N. W. y Qin, J. G. (2016). Improvement of copepod nutritional quality as live food for aquaculture: a review. *Aquaculture Research*, 47(1), 1-20. <https://doi.org/10.1111/are.12471>
- Rengpipat, S., Rueangruklikhit, T. y Piyatiratitivorakul, S. (2008) Evaluationn of lactic acid bacteria as probiotics for juvenile sea bass *Lates calcarifer*. *Aquaculture Research*, 39(2), 134-143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01864.x>
- Rivera, C. M. y Botero, M. (2009). Alimento vivo enriquecido con ácidos grasos para el desarrollo larvario de peces. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22(4), 607-618. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902009000400004&lng=en&tlng=es

- Rocha, G. S., Katan, T., Parrish, C. C. y Gamperl, A. K. (2017). Effects of wild zooplankton versus enriched rotifers and *Artemia* on the biochemical composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *Aquaculture*, 479(2017), 100-113. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.05.025>
- Ruiz-Guzmán, J. A., Jiménez Velásquez, C. A., Gomes Romero, C. y Prieto Guevara, M. J. (2012). Cultivo experimental de *Cyclopina* sp. con diferentes especies de microalgas. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(1), 97-1050. http://www.scielo.org/co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902012000100012&lng=en&tlng=es
- Salze, G., McLean, E., Battle, P. R., Schwarz, M. H. y Craig, S. R. (2010). Use of soy protein concentrate and novel ingredients in the total elimination of fish meal and fish oil in diets for juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 298(3-4), 294-299. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.003>
- Samat, N. A., Yusoff, F. M., Rasdi, N. W. y Karim, M. J. A. (2020). Enhancement of live food nutritional status with essential nutrients for improving aquatic animal health: A review. *Animals*, 10(12), 2457. <https://doi.org/10.3390/ani10122457>
- Sánchez, C., Ayala, D. y Bocarosa, E. (17-29 de noviembre de 2018). *La biodiversidad y la supervivencia humana en la tierra* [Discurso principal]. Conferencia de las Naciones Unidas, Sharm, El-Sheikh, Egipto.
- Sánchez, Z.A., Durruty, L.C., Suarez, B.J., Rosas, V.C., Pérez, P.C. y Sánchez, A.A. (25-29 September of 2009). *Effect of salinity changes on the gonad maturation of Centropomus undecimalis*. [main speak]. World Aquaculture society, Veracruz, Mexico.
- Santhanam, P., Jeyaraj, N., Jothiraj, K., Ananth, S., Dinesh Kumar, S. y Pachiappan, P. (2019). Evaluation of the Suitability of Marine Copepods as an Alternative Live Feed in High-Health Fish Larval Production. En P. Santhanam, A. Begum y P. Pachiappan (Eds.), *Basic and Applied Zooplankton Biology* (pp. 227-292). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7953-5>
- Santhanam, P., Marjuk, M. S., Gunabal, S., Sridhar, P., Raju, P., Ananth, S., Nandakumar, R., Kaviyaran, M., Devi, A. S., Jeyanthi, S., Divya, M., Krishnaveni, N., Gowthami, A. y Perumal, P. (2023). A novel technology towards the high-density and continuous production of the marine copepod, *Pseudodiaptomus annandalei* (Sewell, 1919). *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04348-w>
- Santhosh, B., Aneesh, K. y Anzeer, F. M. (2023). Culture and maintenance of marine copepods as the live feed. En J. Imelda, S. George y S. Joseph (Eds.), *Winter School on Mariculture Technologies for Income Multiplication, Employment, Livelihood and Empowerment* (pp. 134-139). ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi. http://eprints.cmfri.org.in/17136/1/Winter%20School_2023_Mariculture_Santhosh%20B.pdf

- Santiago, C. y Laron, M. (1991). Growth response and carcass composition of red tilapia fry fed diets with varying protein and protein to energy ratios. En S. De Silva (Ed.), *Proceedings of the Fourth Asian Fish Nutrition Workshop* (pp. 55-62). Special Publication, Asian Fisheries Society, Philippines.
- Schipp, G. (15-17 de noviembre de 2006). *The use of calanoid copepods in semi-intensive, tropical marine fish larviculture*. [Discurso principal]. En L. Cruz Suárez, D. Ricque Marie, M. Tapia Salazar, M. G. Nieto López, D. A. Villarreal Cavazos, A. C. Puello Cruz y A. García Ortega (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VIII* (pp. 84-94). VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, Monterrey, Nuevo León, México.
- Schulz C., Huber, M., Ogunji, J. y Rennert, B. (2008). Effects of varying dietary protein to lipid ratios on growth performance and body composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture Nutrition*, 14(2), 166-173. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00516.x>
- Shahidi, F., Varatharajan, V., Peng, H. y Senadheera, R. (2019). Utilization of marine by-products for the recovery of value-added products. *Journal of Food Bioactives*, 6, 10-61. <https://doi.org/10.31665/JFB.2019.6184>
- Shao, L. y Zeng, C. (2020). Survival, growth, ingestion rate and foraging behavior of larval green mandarin fish (*Synchiropus splendidus*) fed copepods only versus co-fed copepods with rotifers. *Aquaculture*, 520, 734958. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734958>
- Silvão, C. F. y Nunes, A. J. P. (2017). Effect of dietary amino acid composition from proteins alternative to fishmeal on the growth of juveniles of the common snook, *Centropomus undecimalis*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 569-575. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/3BsF4jzCnZgzpJc5M4B3ZJP/?format=pdf&lang=en>
- Sitjà-Bobadilla, A., Peña-Llopis, S., Gómez-Requeni, P., Médale, F., Kaushik, S. y Pérez Sánchez, J. (2005). Effect of fish meal replacement by plant protein sources on nonspecific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 249(1-4), 387-400. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.031>
- Soligo, T. A., Garcia, A. S. y Cerqueira, V. R. (2011). Weaning of the common snook (*Centropomus undecimalis*) early juveniles reared in laboratory using commercial and experimental diets. *Boletim do Instituto de Pesca*, 37(4), 367-374.
- Souza, R.M. (2007). Influência da aplicação de bactéria ácido láctica na dieta sobre o cultivo de juvenis de Róbalo Peva (*Centropomus parallelus* Poey, 1980) [Tesis de maestría, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90162>
- Sowaske, G., Murray, C. A., Hutchins, S. W., Lipscomb, T. N. y DiMaggio, M. A. (2023). Evaluation of larviculture protocols for the Pacific blue tang (*Paracanthurus hepatus*). *Aquaculture*, 565, 739116. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739116>

- Støttrup, J. G. (15-17 de noviembre de 2006). *A review on the status and progress in rearing copepods for marine larviculture. Advantages and disadvantages. Among Calanoid, Harpacticoid and Cyclopoid copepods*. [Main speak] En L. Cruz Suárez, D. Ricque Marie, M. Tapia Salazar, M. 46 G. Nieto López, D. A. Villarreal Cavazos, A. C. Puella Cruz y A. García Ortega (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola VIII* (pp. 62-83). VIII Symposium Internacional de Nutrición Acuícola. Monterrey, Nuevo León, México.
- Sun, X., Song, M., Li, Z., Song, Y., Yuan, X., Dong, B., Zhang, L., Zhu, L. y Liang, Z. (2023). Selective feeding of the mullet larvae *Liza haematocheila* during ontogeny in Laizhou Bay, Bohai Sea, China: The importance of small copepods in mesozooplankton as prey. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1147886. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1147886>
- Toranzo, A. E., Magariños, B. y Romalde, J. L. (2005). A review of the main bacterial fish diseases in mariculture systems. *Aquaculture*, 246 (1-4), 37-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.002>
- Torres, G. A., Merino, G. E. y Prieto-Guevara, M. J. (2022). Continuous egg separation of the copepod *Acartia tonsa*. Implications for increasing adult density at an intensive level. *Aquaculture Reports*, 22, 100995. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100995>
- Torres, G. A., Merino, G. E., Prieto-Guevara, M. J., Portillo, J. E. A., Gamboa, J. H., Imués, M. A. y Chapman, F. A. (2021). Spawning of calanoid copepod *Acartia tonsa* at low temperature and high salinity improves hatch success for cold-stored egg production. *Aquaculture*, 530, 735725. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735725>
- Trippel, E. A., Castell, J. D., Neil S. R. y Blair, T. J. (4-9 July de 1999). *Assessment of egg quality of haddock (Melanogrammus aeglefinus) in paired matings*. [Main speak]. En B. Norberg, O. S. Kjesbu; G. L Taranger, E. Andersson y S. O. Stefansson. Bergen, Norway. Proceedings of the 6th International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish (pp. 405-407). Department of Fisheries and Marine Biology, USA.
- Tucker, J. W. (2012). *Marine Fish Culture*. Springer Science & Business Media.
- Valdez-González, F., Gutiérrez-Dorado, R., Hernández-Llamas, A., García-Ulloa, M., Sánchez-Magaña, L., Cuevas-Rodríguez, B. y Rodríguez-González, H. (2017). Bioprocessing of common beans in diets for tilapia: in vivo digestibility and antinutritional factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 4087-4093. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8275>
- Valencia, G. A. T., Merino, G. E., Prieto-Guevara, M. J., Portillo, J. E. A., Arboleda, J. E. L. y Chapman, F. A. (2022). Spawning *Parvocalanus crassirostris* at a high adult density: Explaining low adult population numbers and means for improving their intensive culture. *Aquaculture*, 546, 737347. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737347>

- Vanacor-Barroso, M., Avelar Carvalho, C. V., Antoniassi, R. y Ronzani-Cerqueira, V. (2017). The copepod *Acartia tonsa* as live feed for fat snook (*Centropomus parallelus*) larvae from notochord flexion to advanced metamorphosis. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(1), 159-166. <http://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-15>
- Vázquez, J. A., González, M. P. y Murado, M. A. (2005). Effects of lactic acid bacteria cultures on pathogenic microbiota from fish. *Aquaculture*, 245(1-4), 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.008>
- Velasco-Santamaría, Y. y Corredor-Santamaría, W. (2011). Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review. *Revista MVZ Córdoba*, 16(2), 2458-2469. <https://doi.org/10.21897/rmvz.283>
- Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P. y Verstraete, W. (2000). Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(4), 655-671. <https://doi.org/10.1128/mmbr.64.4.655-671.2000>
- Vitiello, V., Zhou, C., Scuderi, A., Pellegrini, D. y Buttino, I. (2016). Cold storage of *Acartia tonsa* eggs: a practical use in ecotoxicological studies. *Ecotoxicology*, 25(5), 1033-1039. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1660-8>
- Watanabe, T. y Vassallo-Agius, R. (2003) Broodstock nutrition research on marine finfish in Japan. *Aquaculture*, 227(1-4), 35-61. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00494-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00494-0)
- Watanabe, T., Itoh, A., Kitajima, C. y Fujita, S. (1984). Effect of protein levels on reproduction of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50(6), 1015-1022. <https://doi.org/10.2331/suisan.50.1015>
- Watanabe, T., Vassallo-Agius, R., Mushiake, K., Kawano, K., Kiron, V. y Satoh, S. (1998). The first spawn-taking from striped jack broodstock fed soft-dry pellets. *Fisheries Science*, 64(1), 39-43. <https://doi.org/10.2331/fishsci.64.39>
- Wilson, J. M., Ignatius, B., Santhosh, B., Sawant, P. B. y Soma, S. A. (2022). Effect of adult density on egg production, egg hatching success, adult mortality, nauplii cannibalism and population growth of the tropical calanoid copepod *Acartia tropica*. *Aquaculture*, 547, 737508. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737508>
- Winfree, R. A. y Stickney, R. R. (1981). Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency, and body composition of *T. aurea*. *The Journal of Nutrition*, 111(6), 1001-1012. <https://doi.org/10.1093/jn/111.6.1001>
- Xi, L., Lu, Q., Liu, Y., Su, J., Chen, W., Gong, Y. y Xie, S. (2022). Effects of fish meal replacement with *Chlorella* meal on growth performance, pigmentation, and liver health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Animal Nutrition*, 10, 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.03.003>

- Xianghua, L. (1988). Research on fish nutrition in China. En S. de Silva (Ed.), *Finfish Nutrition Research in Asia. Proceedings of the Second Asian Fish Nutrition Network Meeting* (pp.92-95). Heinemann Publishers Asia Pte Ltd. <https://idl-bnc-idrc.dspace-direct.org/server/api/core/bitstreams/e4f0ce88-9e6d-4790-83cf-2cd1977c67bc/content>
- Yamamoto, K. (1956). Studies on the formation of fish eggs. Annual cycle in the development of the ovarian eggs in the flounder, *Liopsetta obscura*. *Hokkaido University Faculty of Science Minutes*, 12, 362-373. [https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/27165/1/12\(3\)_P362-373.pdf](https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/27165/1/12(3)_P362-373.pdf)
- Yanes-Roca, C., Rhody, N., Nystrom, M. y Main, K. L. (2009). Effects of fatty acid composition and spawning season patterns on egg quality and larval survival in common snook (*Centropomus undecimalis*). *Aquaculture*, 287(3-4), 335-340.
- Yu, X., Xin, Y., Cui, L., Jia J., Yuan, X., Fu, S., Zhang, J., Sun, C., Miao, X. y Li W. (2021). Effects of neuropeptide Y as a feed additive on stimulating the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed low fish meal diets. *Peptides*, 138, 170505. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2021.170505>
- Zarza Meza, E. A., Berruecos Villalobos, J. M., Vásquez Peláez, C. y Álvarez Torres, P. (2006) Experimental culture of common snook *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1972) and fat snook *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) (Perciformes: Centropomidae) in freshwater in concrete pond in Alvarado, Veracruz, Mexico. *Vet Mex* 37(3), 327-333.
- Zhang, C., Zuo, Z., Wang, Q., Wang, S., Lv, L. y Zou, J. (2022). Size effects of microplastics on embryos and observation of toxicity kinetics in Larvae of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Toxics*, 10(2), 76. <https://doi.org/10.3390/toxics10020076>

Capítulo 2. Cultivo del róbalo (*Centropomus undecimalis*)

Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez
Saeko Gaitán-Ibarra
María de Jesús Contreras-García
Natalia Villamizar-Villamizar



Sistemas de cultivo de róbalo (*Centropomus undecimalis*) en agua dulce: a) cultivo en estanque, b) selección de especímenes para biometría y c) róbalo adulto mantenido en cultivo de agua dulce. Fuente: los autores.

Resumen

El róbalo común (*Centropomus undecimalis*) es un recurso pesquero de importancia en los mercados colombianos; sin embargo, la sobreexplotación de este recurso y el deterioro ambiental han ocasionado que la especie sea considerada en el *Libro Rojo de Peces Marinos de Colombia* como «Vulnerable». Sin lineamientos específicos para el uso responsable de este recurso y ante la ausencia de programas de conservación de la especie, el futuro del róbalo en el país es incierto. Ante esta situación, la producción del róbalo a través de técnicas de cultivo se convierte en una alternativa promisoriosa,

la cual se basa en varios aspectos biológicos como son la fácil adaptación de la especie al cautiverio y a amplios rangos de parámetros fisicoquímicos, a la vez que su rápido crecimiento y baja mortalidad. La producción de estos organismos bajo estas condiciones podría cumplir con dos estrategias: una orientada a la recuperación de poblaciones sobreexplotadas mediante la repoblación por medio de programas de repoblamiento genéticamente responsables, a través de la producción de alevino, lo que contribuirá a disminuir la presión pesquera sobre el recurso; y otra encaminada al engorde en sistemas de cultivo, considerando que no se cuenta con un alimento específico para la especie. En la actualidad, el cierre del ciclo biológico de la especie se ha logrado en países como México, Brasil y EE.UU., en donde se llevan a cabo actividades de repoblación y cultivos a escala experimental y piloto. En Colombia, sin embargo, la reproducción de la especie bajo condiciones de cautiverio aún no es una realidad, debido principalmente a la falta de infraestructura para el mantenimiento de reproductores, la dificultad de conseguir hembras maduras y la ausencia de alimentos específicos que suplan las demandas nutricionales propias de una especie marina. Entre los grupos de investigación que mayores esfuerzos han realizado en esta temática se encuentra el grupo de investigación GIBEA (Biodiversidad y Ecología Aplicada) de la Universidad del Magdalena, el cual lleva más de una década recabando

información de línea base sobre la biología, fisiología y comportamiento de la especie, al mismo tiempo que comparte experiencias, conocimientos y formación entre sus investigadores. Por lo anterior, el presente documento plasma dichas experiencias y conocimientos y los enriquece con aquellos obtenidos por los investigadores de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) (México) con el fin de fomentar esta importante línea de investigación.

Introducción

El róbalo (*C. undecimalis*), conocido en el Caribe colombiano como róbalo común, es un recurso hidrobiológico importante en las pesquerías de captura de la región y de gran valor para el consumidor debido a la calidad, sabor, textura y valor nutricional de su carne, convirtiéndose en un producto económicamente muy bien remunerado. Tiene un precio en el mercado nacional colombiano de USD 6,40/kg eviscerado, compitiendo en precio con especies del Pacífico como el pargo (*Lutjanus guttatus*), cuyo valor alcanza los USD 7,35/kg en los canales minoristas y mayoristas del país (Rangel-Durán et al., 2022); también se resalta su importante valor en los mercados internacionales. Sin embargo, el deterioro de los ecosistemas naturales en donde habita y la falta de lineamientos de control aplicables a la pesca de la especie han conllevado a su precario estado actual de conservación, por lo que se ha sugerido una veda total

de cinco años para permitir la recuperación de los *stocks* de reproductores, tras la cual se recomienda instaurar medidas asociadas a la implementación de tallas mínimas de captura (Grijalba-Bendeck *et al.*, 2017; Perera-García *et al.*, 2011).

Generalidades sobre la biología y ecología de *Centropomus undecimalis*

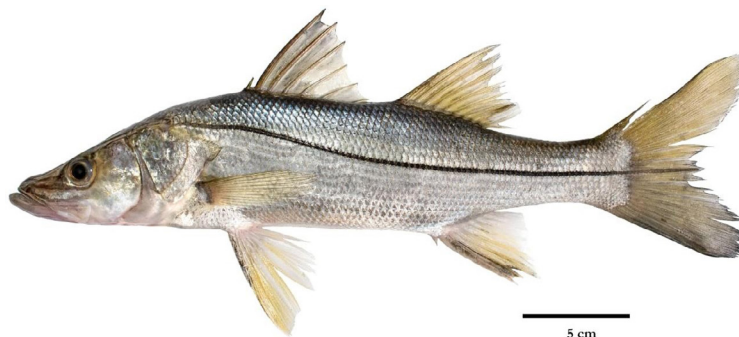
El róbalo pertenece a la familia Centropomidae y al género *Centropomus*, el cual está representado por doce especies que habitan aguas tropicales y subtropicales de la costa este del continente americano. Su distribución, por tanto, se extiende desde Carolina del Sur, en EE. UU., hasta Florianópolis, en Brasil (Nelson, 2006; Rivas, 1986). En Colombia se encuentra desde Acandí, en el golfo de Urabá, hasta Bahía Portete, en La Guajira (Grijalba-Bendeck *et al.*, 2017).

Habita una gran diversidad de ambientes, desde aguas neríticas, estua-

rias, ecosistemas de manglar de las costas continentales y de islas de la plataforma del océano Atlántico americano, así como en ríos y lagunas de agua dulce. Es común encontrar alevinos y juveniles en las zonas adyacentes a las raíces de los bosques de manglar, las cuales ofrecen un lugar óptimo para resguardarse de posibles depredadores y diversas fuentes de alimento.

La especie *C. undecimalis* se caracteriza por tener un hocico cóncavo, boca alargada y mandíbula inferior más pronunciada a la superior, presenta una coloración amarilla-parda o marrón-verdosa en la región dorsal y plateada en la región ventral; presenta, además, una distintiva línea lateral oscura (Figura 1). El pedúnculo caudal puede presentar un número de escamas que oscilan entre 22 y 28, y una aleta dorsal con una diferenciación en la tercera espina, la cual es más larga que la cuarta. El número de branquiespinas puede variar de 8 a 10 en el primer arco branquial (Carpenter, 2002).

Figura 1. Ejemplar juvenil de róbalo (*Centropomus undecimalis*), mantenido en estanques en tierra con agua dulce



Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Alimentación. La alimentación de juveniles en el medio silvestre incluye una variedad de presas de crustáceos como copépodos calanoideos, misodáceos y camarones del género *Palaemon*, y peces de los géneros *Poecilia*, *Gobionellus*, *Cyprinus* y *Anchoviella* (McMichael *et al.*, 1989; Teixeira, 1997). En el caso de los adultos, se ha reportado como una especie carnívora con alta tendencia a la piscivoría. Souza *et al.* (2021) reportan que la alimentación de la especie en la región costera de Maranhão estuvo compuesta en un 79 % por peces y un 21 % de crustáceos (principalmente camarones y cangrejos). Resultados muy parecidos se reportaron para la zona costera del sur de la Florida (Malinowski *et al.*, 2019); sin embargo, también se ha descrito que su dieta puede incluir otros organismos, como los anfípodos, gasterópodos, poliquetos e insectos (Lira *et al.*, 2018).

Reproducción. El róbalo es una especie hermafrodita protándrica. Durante su ciclo de vida madura con sexo masculino primero (43 cm de longitud total), y luego, a determinado tiempo y talla, parte de la población realiza la reversión sexual a hembra, manteniéndose en este sexo por el resto de su vida reproductiva (Grijalba-Bendeck *et al.*, 2012; Pandian, 2010). A la fecha, se desconoce cuál es el inductor que dispara el cambio de sexo hacia hembra, y aunque se ha especulado la talla y la edad en la que este proceso ocurre, existe información contradictoria, ya que es muy probable que estas varíen dependiendo de

la latitud e incluso de la población. Al mismo tiempo, en especies hermafroditas, existe una mayor complejidad para establecer el momento en el cual este hecho ocurre, debido a que existe una diferencia entre la presencia de una gónada bisexual y la completa maduración sexual de ovocitos. Taylor *et al.* (2000) registraron la transición a hembras en un amplio rango de tallas (26,4-87,6 cm de longitud total) y edades (1-7 años) en poblaciones de la Florida. En estas mismas poblaciones, Young *et al.* (2020) registraron dicha transición en peces de entre 3 y 8 años de edad. Por otro lado, Hernández-Vidal *et al.* (2014), en su estudio realizado en México, reportaron mayores tallas medias de madurez sexual (entre 80 cm para machos y 85 cm para hembras). En Colombia, la TMM ha sido registrada entre los 46,2 cm para los machos (Duarte *et al.*, 2019) y 75 cm para las hembras (Posada-Peláez *et al.*, 2012). En hembras, la maduración ovárica comienza en marzo (Tucker y Campbell, 1988), y en los machos, la maduración testicular comienza en febrero y finaliza en octubre (Taylor *et al.*, 1998).

La temporada de desoves en el medio silvestre en Florida se reporta desde abril hasta octubre, existiendo picos reproductivos entre julio y agosto aparentemente inducidos por disminución de la longitud de los días y las altas temperaturas, y, al parecer, ocurre de manera independiente a los ciclos lunares (Tucker y Campbell, 1988); sin embargo, Peters *et al.* (1998) indican que hay un

incremento en la cantidad de desoves cuando se presenta luna nueva o llena. Por su parte, Álvarez-Lajonchère y Taylor (2003) reportan para las aguas del Caribe un ciclo de reproducción de marzo a septiembre, con dos picos, uno agudo en mayo y otro menor en agosto. De manera específica para Colombia, se ha registrado una época de desove comprendida entre los meses de abril y agosto (Santos-Martínez, 1998; Sierra, 1996). Se ha documentado que *C. undecimalis* desova en el mar durante los meses de primavera y verano bajo una salinidad que varía entre 28 y 35 UPS y temperaturas entre 22 y 31°C (Grier, 1985; Hernández-Vidal *et al.*, 2014; Taylor *et al.*, 1998; Tucker, 1987). Se ha observado que existen zonas específicas caracterizadas por corrientes fuertes con una profundidad media y salinidad alta donde se presentan agregaciones de individuos maduros (Lowerre-Barbieri *et al.*, 2003). Previo al desove se presenta un comportamiento de cortejo, en el que la hembra se hace acompañar de dos a siete machos, tras lo cual ocurre la liberación de gametos (Hernández-Vidal *et al.*, 2014; Perera-García *et al.*, 2011; Peters *et al.*, 1998). Los huevos fertilizados y larvas son arrastrados por las corrientes, entrando a lagunas costeras y estuarios de agua salobre, donde se desarrollan hasta la etapa juvenil y adulta (Brame *et al.*, 2014; Gilmore *et al.*, 1983).

A pesar de su abundancia en ecosistemas de agua dulce, la información sobre la biología de la especie procede

principalmente de estudios en el hábitat marino. Hernández-Vidal *et al.* (2021) reportaron que los adultos de róbalo blanco se pueden encontrar fácilmente tanto en ecosistemas de agua dulce como en aguas marinas y presentan patrones reproductivos temporales similares en ambos ambientes. Estos autores además observaron que hembras y machos experimentan madurez avanzada simultáneamente en ambos ambientes; sin embargo, las hembras en el ambiente de agua dulce no alcanzan la maduración final, planteando que los organismos están sincronizados en el desarrollo de las gónadas en ambos hábitats, lo que implica migraciones de al menos 300 km desde el ambiente de agua dulce hasta las zonas de desove en el Golfo de México.

Cultivo en Colombia. Si bien en el país aún no se ha logrado la reproducción de la especie bajo condiciones de cautiverio y, con ello, el cierre de su ciclo biológico, los avances realizados han permitido desarrollar protocolos de transporte, aclimatación, adaptación y conocimientos relacionados con el manejo de reproductores, engorde de juveniles y su viabilidad económica (Cruz- Botto *et al.*, 2018; Polonia-Rivera *et al.*, 2016; Polonia-Rivera *et al.*, 2017a; Polonia-Rivera *et al.*, 2017b; Villamizar *et al.*, 2021); algunos de estos temas serán abordados en este capítulo. También se ha logrado obtener buenos resultados en procesos de feminización en ambientes marinos y dulceacuícolas (Gaitán *et al.*, 2023) con miras a evaluar

la sinergia a la respuesta de la viabilidad reproductiva según el ambiente donde fueron feminizados (ambiente marino o dulce acuícola); no obstante, se deben continuar los esfuerzos, profundizando en diversas áreas relacionadas con la fisiología de la reproducción y procesos de la nutrición, como estrategia fundamental para lograr implementar una economía de escala y potencializar el desarrollo de la piscicultura marina del róbalo en la región y el país.

Captura, transporte y aclimatación de *C. undecimalis*

El róbalo común es una especie de gran interés desde su ecología y dinámica poblacional, así como también para las comunidades de pescadores que derivan su sustento de esta actividad, al igual que para los centros de acopios minoristas y mayoristas que surten las grandes cadenas de mercados y comercio formal e informal de la región Caribe colombiana. La actividad derivada de la pesca de extracción de este recurso pesquero tiene una amplia distribución de sitios de desembarco; de acuerdo con información registrada en la plataforma SEPEC, se destacan: Cispatá, Dibulla y Ciénaga, que reportan volúmenes de desembarques anuales hasta 15,8 toneladas empleando artes de pesca tales como red de enmalle y chinchorro playero o de jala. La captura de róbalos vi-

vos para el establecimiento de lotes de reproductores en cautiverio se realiza siguiendo los procedimientos reportados en la literatura, priorizando mantener las condiciones ambientales naturales que se hallen en el sitio de origen (Reyes *et al.*, 2012). La captura de reproductores de róbalo blanco en el medio silvestre se realiza en las zonas de desove, durante la temporada reproductiva, usando redes de luz de malla de 7"; para ello, se tienden las redes de enmalle en las zonas de desove por la tarde y se revisan por la noche y temprano al día siguiente. Una vez que se avista un róbalo, se extrae cuidadosamente de las redes y se coloca en contenedores con agua y abundante aireación. Al llegar a la playa, se atrapan los peces con bolsas de tela diseñadas con pequeñas aperturas a los extremos para facilitar la salida del agua y evitar pérdida de escamas y daños en la piel de los peces, y se trasladan en neveras de plástico con agua limpia. Posteriormente, los peces se trasladan a las instalaciones acuícolas, revisándose en el trayecto la necesidad de realizar recambios de agua para buena calidad del agua. Para la captura de los ejemplares juveniles, se emplean atarrayas con tamaños de malla de ½, o de 1 pulgada. En el caso de los juveniles y algunos adultos pequeños, estos son capturados con redes de encierro, pero en las zonas cercanas a los manglares (Figura 2).

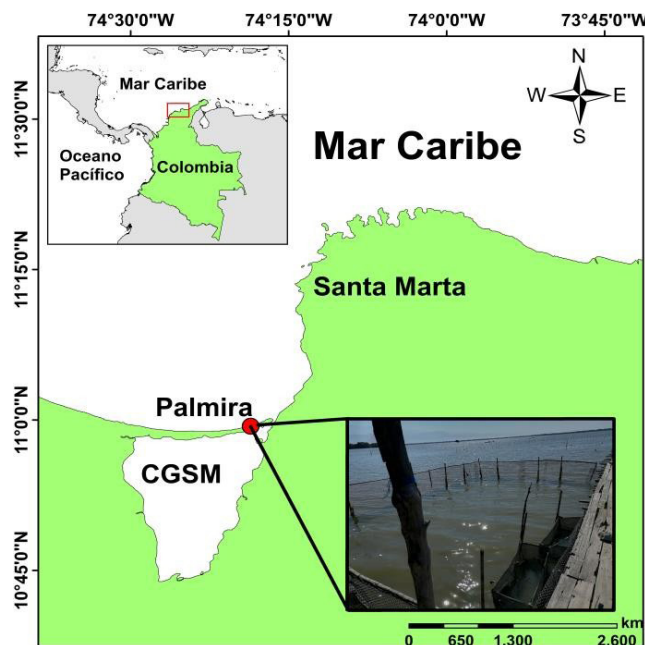
Figura 2. Proceso de captura de juveniles de róbalo (*Centropomus undecimalis*) en zonas cercanas al manglar en la Ciénaga Grande de Santa Marta



Notas: a) lance con redes de encierro, b) despesque de las especies capturadas y c) selección y traslado de peces. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra; Natalia Villamizar-Villamizar.

Una vez capturados, el mecanismo utilizado para realizar una primera adaptación al cautiverio es el empleo de corrales ubicados dentro de la misma ciénaga. Los encierros empleados hasta el momento tienen un área de 70 m² (10 x 7 m) y 1,10 m de profundidad. Dicho protocolo ha sido aplicado con éxito en la CGSM (Figura 3).

Figura 3. Mapa del área donde se ubican los corrales en donde son mantenidos los róbalos capturados



En este sector existe un sistema muy rudimentario de viviendas conocido comúnmente como palafito, donde habitan comunidades pesqueras. Alrededor de estas casas, se construyen este tipo de corrales o encierros para utilizarlos en actividades de engorde de diferentes especies como la tilapia (*Oreochromis* spp.), sábalos, róbalos, camarón, etc., y que les posibilitan tener un ingreso económico extra. Para fines de inves-

tigación, estos encierros permiten el mantenimiento y estabilización de los róbalos capturados, además de brindar la oportunidad de seleccionar los animales que presenten las condiciones óptimas (condición general, peso, talla, sexo, entre otros) y contar con el número de ejemplares requeridos, para luego ser transportados a los laboratorios y la estación piscícola de la Universidad del Magdalena (Figura 4).

Figura 4. Sistemas de encierro construidos para el cultivo de peces en la Ciénaga Grande de Santa Marta



Notas: a) corrales en palafitos y b) selección de especímenes por tamaño. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra; Natalia Villamizar-Villamizar.

El transporte de peces vivos es un procedimiento muy delicado y traumático, que somete a los organismos a factores estresantes desde el momento de la captura hasta su confinamiento o lugar de cultivo. Si bien el transporte es un proceso común, puede llegar a ocasionar

afectaciones en los peces y presentar respuestas fisiológicas que perturban el eje hipotálamo-pituitaria-adrenal en el sistema neuroendocrino, desencadenando la liberación de cortisol y catecolaminas como respuestas primarias al estrés (Barton, 2000). Las respuestas se-

cundarias están relacionadas a cambios metabólicos de tipo fisiológico (Hemre y Krogdahl, 1996), bioquímico (Pottinger, 1998) y hematológico (Pickford *et al.*, 1971). De hecho, si el tiempo del transporte se prolonga, se convierte en un factor de estrés severo (Robertson *et al.*, 1988), en el que la calidad del agua juega un papel importante como principal generador de estrés y en varios casos un factor limitante del estado de salud (Berka, 1986; Ross y Ross, 2008). Al respecto, Villamizar *et al.* (2021) reportaron que durante el tiempo de transporte de juveniles de *C. undecimalis* se afectaron notablemente los parámetros del agua, presentando incrementos en la salinidad y amonio y disminución en los niveles de oxígeno disuelto.

Se recomienda que, previo al transporte, se registre la salinidad del sitio de colecta o mantenimiento, empleando un refractómetro. Los peces se extraen de los corrales y se empaquetan en bolsas plásticas con capacidad de 40 L (densidad: 0,025 kg/L), previamente llenadas con agua del sitio de confinamiento, se le adiciona 0,4 ml de aceite de clavo (eugenol) para brindar una anestesia suave y 100 ml de melaza para disminuir los niveles de estrés; asimismo, se inyecta oxígeno en la bolsa a concentración de 240 mg/L y se sellan con bandas elásticas, ubicándose en tanques o cavas de 1000 L, colocándole alrededor bolsas con hielo para evitar el incremento de la temperatura durante el transporte.

Tratamientos profilácticos y cuarentena

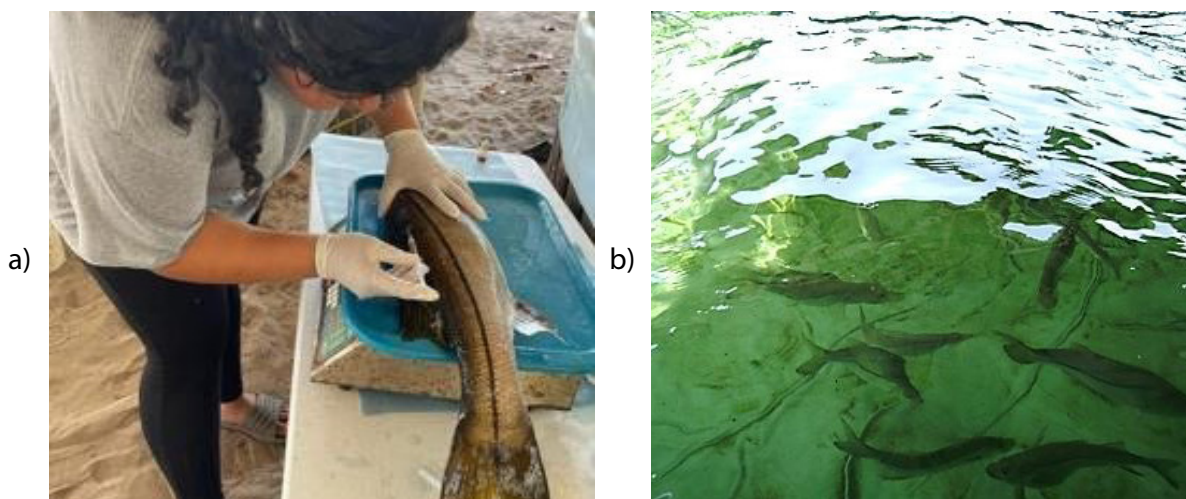
Dentro de las instalaciones de la Estación de Acuicultura Marina en Tabasco, México, los peces se colocan en tanques de cuarentena con al menos 25 m³ de capacidad, manteniéndolos a temperatura ambiente (alrededor de 28 °C) y a la salinidad local del mar. Para eliminar parásitos se emplean baños de agua dulce por espacio de uno a dos días. Los peces son sometidos a un tratamiento profiláctico que dependerá de la salinidad al momento de la captura, es decir, si la salinidad es alta (30-33 UPS), será sometido a un baño de agua dulce (0 UPS) durante un tiempo de 10 a 20 minutos; en caso contrario (3 UPS), el baño deberá ser de agua marina (25-30 UPS), por el mismo tiempo. En ambos casos se debe realizar un seguimiento del comportamiento de respuesta de los peces al tratamiento y supervisar los parámetros de calidad del agua.

Para tratar heridas en la piel causadas por las redes o el manejo y la consecuente posibilidad de infecciones, se aplica un tratamiento antibiótico, como puede ser el producto 3-Sulfas®, bactericida de amplio espectro, el cual se inyecta directamente en el músculo del pez (Figura 6). También existen otros productos antibióticos, como pueden ser el Topazone® (florfenicol), el cual, además, es un coadyuvante en el proceso de cicatrización, y la Gentamicina® para bacterias aerobias

gramnegativas (enterobacterias y estafilococos). Una vez aplicado el tratamiento, se debe hacer un seguimiento de la respuesta de los peces, la evolución de las heridas y los parámetros de calidad de

agua, haciendo énfasis en un recambio constante de la misma. Los peces tratados se deben aislar en un tanque de cuarentena, el cual contendrá agua con salinidad natural marina (Figura 5).

Figura 5. Manejo de róbalos al llegar a la granja o laboratorio



Notas: a) aplicación de antibiótico y b) lote de reproductores en tanque de geomembrana en cuarentena. Fuente: Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez; María de Jesús Contreras-García.

Para eliminar crustáceos ectoparásitos como los del género *Argulus*, también se pueden emplear baños con organofosforados como el Neguvón® (Triclorphon) en dosis de 0,12 g por cada 1000 L de agua durante un día. También es recomendable usar el bactericida y parasitocida Azoo® a razón de 2 g por cada 1000 L, haciendo recambios parciales de agua de un 50 % al día y repitiendo el tratamiento durante tres días.

Los peces recién capturados son alimentados con alimento vivo (presa), principalmente sardinas de la familia Clupeidae, eleótridos de agua dulce y se

combina con alimento balanceado para peces marinos. Los peces son alimentados a saciedad. La calidad del agua se mantiene realizando recambios de agua y llevando un control de la alimentación racionándolo en cuatro alimentaciones. Una vez aclimatados, los ejemplares son alimentados solamente con alimento marino de alto contenido proteico (Figura 6). La estadía de los peces en los tanques de cuarentena es aproximadamente de 30 días; lo ideal es que sean instalaciones aisladas, separadas del resto de los tanques. Sin embargo, a criterio del operador, los peces deben per-

manecer en cuarentena hasta que no se observen signos evidentes de parásitos o enfermedades y los peces estén aclimatados y alimentándose adecuadamente.

Figura 6. Alimentación de reproductores en estanques de aclimatación y cuarentena



Fuente: Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez; María de Jesús Contreras-García.

La calidad del agua se monitorea diariamente. En caso de no contar con sistema de recirculación, se deben realizar recambios del 80 % del volumen de agua cada tercer día. Lo ideal es mantener los peces en sistemas de recirculación que permitan el ahorro de agua y esfuerzo de trabajo del personal de las instalaciones acuícolas. Estos sistemas contienen filtración para que el agua que ingrese a las instalaciones esté libre de patógenos o contaminantes. Un ejemplo para esterilizar el agua es el uso de lámparas UV o de filtro de polipropileno para bolsa o cartucho que pueden ser fácilmente desmontables y recambiables. Es

indispensable mantener el agua limpia para que los peces puedan visualizar el alimento; al ser depredadores visuales, esto facilitará la correcta alimentación y evitará problemas nutricionales, además se asegura un suministro de alimento de buena calidad.

Enfermedades y parásitos en *Centropómidos*

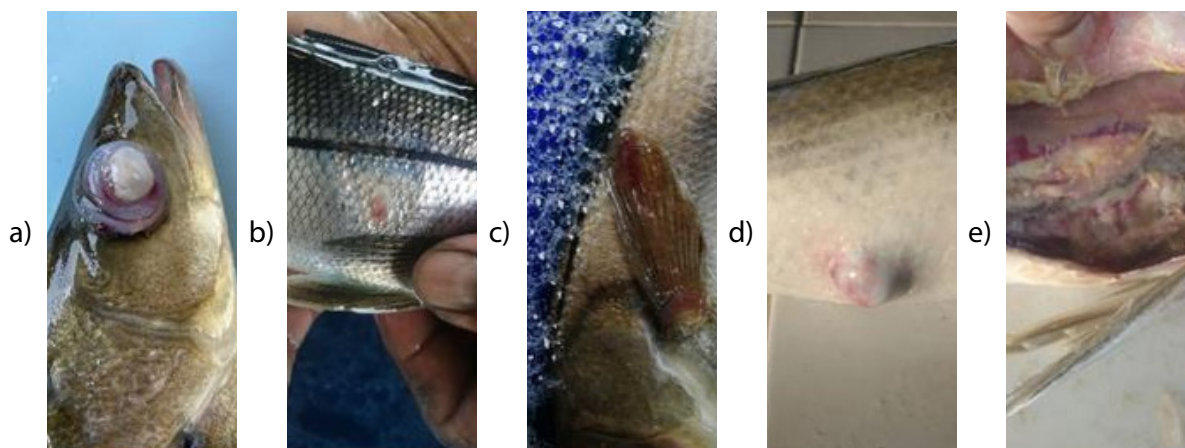
En los últimos dos años se han presentado problemas de sanidad en organismos mantenidos en cautiverio en la Estación Marina de la UJAT en Tabasco, México (M. Contreras-García, comunicación personal, 28 de octubre de 2023), lo que ha llevado a mortalidades que impactan a granjas y centros de cultivo. La estreptococosis, causada por las bacterias *Streptococcus* spp., ocasiona pérdida de apetito, ulceraciones en la piel, hemorragias en las aletas, exoftalmia, convulsiones o nado errático cerca de la superficie y pérdida de la visión (Figura 7).

Dichos síntomas impiden que los peces se alimenten de manera adecuada, llevándolos a la desnutrición y a la aparición de saprolegniosis causada por hongos, por lo que es importante mantener estricto control sanitario en las instalaciones. Lo anterior solo es posible si todo el personal lleva un manejo adecuado en la desinfección de todos los materiales de trabajo, uso y lavado de filtros y manejo de los peces, así como la desinfección en sí misma de cada persona an-

tes y después de trabajar con los diferentes lotes de peces (diferentes tanques de cultivo o mantenimiento de peces). En la Estación de Acuicultura Marina de la UJAT en Tabasco para tratar la estreptococis, se está probando con el antibiótico Enrofloxacina®, de tipo quinolónico, bactericida absoluto que actúa aún en fase de reposo de las bacterias, cuyo espectro de acción es amplio y eficaz. Al mismo tiempo, se está probando el uso de probióticos como PROBION-FORTE®

para favorecer la proliferación de microbiota y reforzar el sistema inmune de los peces. Además, este producto posee un efecto antibacteriano y produce una biopelícula intestinal protectora contra bacterias patógenas, pudiéndose emplear en cualquier fase biológica de desarrollo y reproducción, tanto agregado en el alimento como diluido en el agua del tanque de mantenimiento (M. Contreras-García, comunicación personal, 3 de noviembre de 2023).

Figura 7. Afectaciones causadas por *Streptococcus spp* a peces



Notas: a) Pérdida de la visión, b) ulceraciones en piel, c) hemorragias en aletas, d) inflamación del ano y e) deterioro sistémico y muerte. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Adicionalmente, el uso de Emicina® (oxitetraciclina) para tratar infecciones de *Streptococcus spp.* se encuentra en evaluación en las instalaciones de la Estación de Acuicultura Marina de la UJAT, resultando en importantes avances en el control de la infección. El protocolo de uso consiste en desinfectar los estanques con cloro, yodo o cal y enjuagar con agua limpia; encalar las superficies del tanque

de cultivo o mantenimiento, colocar agua limpia filtrada en el tanque y oxigenar suficientemente. Es indispensable el lavado y desinfección de manos antes de manipular peces y material a emplearse y usar guantes para el trabajo con los ejemplares. La inyección de Emicina/Oxitetraciclina (200 mg/kg de pez) se debe aplicar intraperitoneal, en dosis única, inclinando la jeringa 45°, previamente anestesia-

dos los peces (Cabello, 2004; El Aamri, 2010). Posteriormente, los organismos se colocan en un tanque desinfectado con agua limpia, sin necesidad de reanimación, puesto que los peces inician el movimiento de branquias alrededor de uno a dos minutos una vez que se colocan en el tanque nuevo, disminuyendo con ello el estrés y la pérdida de tiempo. Posteriormente, es necesario llevar un registro de la evolución de los peces. Se ha observado que, posteriormente al tratamiento, los peces comienzan a activarse, a recuperar el nado normal y el apetito. Además, se van desvaneciendo los signos de la exoftalmia tras un periodo de una semana aproximadamente. Sin embargo, es importante tener en consideración que en tilapia se han reportado variedades de *Streptococcus* resistentes a la oxitetraciclina (Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura [FIPA], 2017). En toda instalación acuícola, es importante la limpieza y desinfección de utensilios en general (usar

cloro, yodo o cal), uso de guantes y desinfección con alcohol al 70 % de todo material y superficies que se emplearán para el trabajo con los peces, tales como la preparación de alimentos húmedos o con probióticos, el uso de guantes para alimentar peces y la limpieza en general de todas las áreas.

En Colombia, en la Planta Piloto Pesquera de Taganga se ha registrado en cultivos marinos la presencia del género *Argulus* en reproductores de *C. undecimalis* mantenidos en condiciones de cautiverio; dichos parásitos pueden colonizar externa e incluso internamente a los róbalo (S. Gaitán y D. López, comunicación personal, 22 de septiembre de 2022). Los peces suelen mostrar irritación, presentando frotamiento contra las paredes de los tanques de cultivo. Los parásitos frecuentemente se ubican en las aletas, lomo, superficie del cuerpo, branquias, cavidad bucal y, ocasionalmente, el intestino de sus huéspedes (Cressey, 1982) (Figura 8).

Figura 8. Microcrustáceo *Argulus* spp. detectados en róbalo común (*Centropomus undecimalis*) (izquierda) y daño presentado en el tejido (centro y derecha)



Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Para el tratamiento contra argúlidos parásitos, se pueden emplear inmersiones en agua dulce (0 UPS) durante un tiempo de 15 a 30 minutos con suministro de aireación permanente. Por ser una especie catádroma, el róbalo tolera este cambio abrupto; pasado este tiempo, los peces son llevados gradualmente a su condición de cultivo normales. De igual manera, para ayudar al proceso de profilaxis y cicatrización, se puede aplicar sábila y ácido cítrico (vitamina C) durante siete días; es recomendable realizar nuevamente un baño en agua dulce a los siete días para garantizar la erradicación completa de los ectoparásitos. No obstante, debido a que este tipo de afectaciones son acompañadas con infecciones secundarias de tipo bacteriano, también se recomienda aplicar

oxitetraciclina inyectada intramuscularmente, a una dosis de 0,05 mg por kg de peso, tres aplicaciones, con un día de por medio.

Otro ectoparásito reportado en el róbalo es el *Neobenedenia melleni* (S. Gaitán y D. López, comunicación personal, 22 de septiembre de 2022). Estos organismos suelen alimentarse de la mucosidad y de las células epiteliales del pez, dejándolo expuesto a ataques de diferentes microorganismos oportunistas; también puede afectar la córnea, ocasionando ceguera, causar laceraciones en la piel, pérdida de apetito, hemorragia, debilidad, hipersecreción de moco y muerte (Oliveros-Oliveros, 2015). Este ectoparásito se logró identificar después de tomar muestras y observarlo al estereoscopio (Figura 9).

Figura 9. Ectoparásito (*Neobenedenia melleni*) adherido a la piel de los reproductores de róbalo (*Centropomus undecimalis*) y afectaciones causadas en la piel



Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Los peces presentan irritación y se van al fondo del tanque en etapas iniciales. Se observan laceraciones en la piel, vientre y aletas deshilachadas. Estos ectoparásitos suelen ser transparentes, sin embargo, al sumergirlos en agua dulce para realizar el tratamiento, se observa que adquieren una coloración blanca y se desprenden fácilmente, depositándose en el fondo del tanque. Los peces deben ser tratados con baños de agua dulce durante 15 a 30 minutos, los cuales deben repetirse durante tres días de manera continua. Adicionalmente, se recomienda dejar a los peces en tratamientos con sábila, para evitar infecciones secundarias con hongos o bacterias.

Aclimatación a salinidad y temperatura

Una vez pasado el periodo de cuarentena (la duración depende de la condición en que llegan los peces), se puede decidir si los organismos serán mantenidos en agua dulce o marina. La temperatura se debe medir cada hora, tanto del agua donde vienen los peces como en los tanques donde son recibidos, para así ir aclimatando muy lentamente a los animales hasta que sea nivelada y liberarlos en los tanques. Este proceso puede llevar minutos u horas, dependiendo de la diferencia de temperatura que se registre (Figura 10).

Figura 10. Proceso de aclimatación



Notas: a) aclimatación entre la temperatura del agua dentro de la bolsa plástica y el agua del tanque, b) liberación de los animales, y c) registro de parámetros fisicoquímicos del agua en los tanques durante proceso de aclimatación. Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Adaptación a agua dulce

Pasadas 24 horas del arribo, se inicia el proceso de bajar paulatinamente la salinidad a cero (0). Se recomienda que

el cambio sea de una (1) UPS por cada hora, por medio de una manguera de 4 mm que suministra agua dulce, y por precaución se va midiendo cada $\frac{1}{2}$ hora la salinidad. El tiempo de adaptación

a la salinidad dependerá de qué tanto UPS se deba bajar y el volumen de agua del sistema que se utilice. Si el proceso de osmorregulación consiste en llevar la salinidad a cero, se recomienda hacerlo en tanques pequeños, con suficiente aireación y salida constante y gradual del agua, ya que los peces incorporan sales al interior de las células. No obstante, considerando que la proporción de sales al interior de los peces es mayor a la del agua donde se encuentran, se debe considerar la absorción de grandes cantidades de agua por medio del epitelio branquial del pez para poder compensar la pérdida de sales, mientras que el riñón se ve obligado a producir una mayor cantidad de orina. En este proceso las branquias cumplen tres funciones: osmorreguladora, excretora y reguladora del pH del medio extracelular (Guffey *et al.*, 2011).

Adaptación a agua marina

Por otra parte, para el caso de la aclimatación de peces en ambientes marinos, como se explicó anteriormente, se realiza un baño profiláctico, en este caso a 37 UPS, siguiendo el mismo protocolo antes explicado, es decir, se ubican en tanques preparados a salinidad igual a la del medio donde fueron extraídos y continuando con la aclimatación a la temperatura; pasado el tiempo, se incrementa la salinidad en iguales proporciones a las ya mencionadas para evitar daños en el proceso de osmorregulación. El tiem-

po de adaptación del ambiente dulce acuícola al ambiente marino dependerá de qué tanto se requiera incrementar la salinidad.

Adaptación al alimento balanceado

Los peces no aceptan alimento comercial inmediatamente, por lo que se precisa un periodo de entrenamiento. Inicialmente, se les ofrecen presas vivas, como fue explicado anteriormente; otra opción viable es dar alevines de *Oreochromis* spp. producidos en cautiverio (Figura 11). La colocación de una o dos tilapias de tamaño grande también puede ayudar a estimular el consumo de alimento balanceado.

Los alevinos de tilapia son aceptados favorablemente tanto por los peces adultos como por los juveniles de róbalo. Pasados unos 10 días, se inicia el cambio a trozos de pescado tipo sardina (*Opisthonema oglinum*); con esta alimentación permanecen un tiempo aproximado de 8 a 10 días. Luego, se hace una mezcla con una relación 1:1 de trozos de pescado y alimento concentrado al 45 % PB. El tiempo de alimentación en esta fase es de ocho días; luego, progresivamente se va cambiando la relación hasta quedar solo con el suministro del alimento concentrado. Para el cálculo de la cantidad de alimento a ofrecer en juveniles se emplea el 5 % de la biomasa y se va ajustando en cada biometría. El alimento de suminis-

tra dos veces al día (9:00 y 18:00 horas), sin embargo, se percibe cierta preferencia alimentaria a las 18:00, en donde se observa un mayor consumo de alimen-

to; esta mayor actividad está relacionada con el horario crepuscular, lo que es característico de su historia de vida (Navarro y López, 2019).

Figura 11. Colecta de reproductores de tilapia (a) y selección de alevinos (b) para alimentación de *Centropomus undecimalis*



Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Calidad del agua en las estaciones de cultivo

En acuicultura, el éxito en los cultivos depende de las prácticas de manejo de las instalaciones acuícolas, en donde proveer un ambiente bajo condiciones lo más cercano posible a lo óptimo es de vital importancia para tener resultados favorables tanto para peces en crecimiento como para peces que se van a reproducir, ya que los parámetros fisicoquímicos del agua interactúan, haciendo complejo el cultivo de los organismos, por lo que fluctuaciones en algunos de ellos pueden causar gra-

ves problemas en el tanque de cultivo, tales como enfermedades o la muerte de los peces, lo que provoca pérdidas económicas (Timmons *et al.*, 2001). En este sentido, los desechos de los peces, materia orgánica en descomposición proveniente del alimento no consumido y las propias excretas, productos del metabolismo, compuestos nitrogenados, fósforo, entre otros, pueden ser tóxicos (Piedrahita, 2003), por lo tanto, la calidad del agua es el primer requisito para mantener la salud y el crecimiento de los peces.

Es indispensable mantener la calidad de agua en los sistemas de larvicultivo

de róbalo, por lo que en las instalaciones de la Estación de Acuicultura Marina, en Tabasco, México, se registran diariamente los parámetros ambientales que comúnmente indican la calidad del agua, tales como el amonio (que no debe superar 0,5 mg/L), el oxígeno disuelto (por arriba de 6 mg/L) y el pH (entre 7 y 8). Estos parámetros permiten identificar la necesidad de recambios de agua parciales o totales, dependiendo de la situación observada.

La salinidad es otro parámetro importante que debe mantenerse sin mayores fluctuaciones alrededor de la salinidad deseada (agua dulce o marina). Durante la fase de larvicultura, este parámetro se debe cuidar al extremo, dado que las larvas en el medio silvestre se desarrollan en un ambiente completamente marino, por lo tanto, se lleva un control de las fluctuaciones y se evitan choques que pudieran causar mortalidad. El recambio de agua se realiza cuidadosamente, usando un pequeño contenedor de cerca de 10 L de capacidad, con una pequeña ventana de tela de unos 50µm de abertura de malla, para permitir el paso del agua hacia el interior del contenedor, en el cual se coloca un pequeño sifón para bajar el nivel de agua del tanque de la larvicultura, evitando así el contando directo del sifón con las larvas. El agua se repone por gravedad lentamente hacia el interior del tanque de larvicultura (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015).

Alimentación de reproductores antes y durante la temporada de reproducción anual

La alimentación juega un rol importante en la acuicultura, por lo que el suministro de una dieta que permita un estado nutricional adecuado en los reproductores permitirá la obtención de huevos fértiles. En consecuencia, se producirán juveniles en estado idóneo que, a su vez, pasarán a conformar el lote de reproductores. Por tanto, dichos peces deberán tener un estado fisiológico vigoroso que regulará el crecimiento, el desarrollo y la madurez sexual; de ahí la importancia de alimentar bien a los reproductores que serán los proveedores de larvas viables (Navas *et al.*, 2007).

Los reproductores de róbalo se alimentan de tres a cuatro veces durante el día para garantizar la calidad nutritiva. Para ello, se utilizan alimentos marinos tales como las marca Skretting®, INVE® o Winfish® de 12 mm y 48 % PB durante la temporada de descanso. Sin embargo, en algunos casos se debe reducir la cantidad de alimento suministrado a dos o incluso una sola vez al día, pues los peces dejan de alimentarse en condiciones que generan estrés, como, por ejemplo, una baja en la temperatura.

Tres meses antes del periodo reproductivo, se agrega a la alimentación el alimento Breed-M, marca INVE®, mezclando una masa molida que es elaborada con partes iguales de calamar, pescado y camarón (Figura 12). Antes de la

temporada reproductiva se debe asegurar una nutrición adecuada para la formación de óvulos que permitirán la obtención de huevos y crías con suficiente calidad (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015).

Figura 12. Porciones de alimento a base de pescado, camarón y calamar mezclado con alimento balanceado para reproductores Breed-M, marca INVE®



Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Evaluación del estatus reproductivo de los individuos

Durante la temporada reproductiva se revisan los reproductores mediante canulación para obtener gametos. Ya sea semen u ovocitos, se deberá tomar registro y descargar la información en una base de datos en donde se anoten los valores morfométricos de los peces, tales como el peso y la longitud. Es recomendable que los peces sean identificables, por lo que el uso de microchips es de gran ayuda para llevar un control

riguroso de cada individuo (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015) (Figura 13).

Figura 13. Inserción de microchips a ejemplares de *C. undecimalis*, en la parte muscular cercana a la aleta dorsal



Fuente: Saeko Gaitán-Ibarra.

Esta práctica permite el seguimiento del sexo de los peces con base en los gametos obtenidos por canulación. En caso de no obtener gametos, la no identificación de sexo deberá marcarse, en función de la talla o edad del pez, como inmaduro o como intersexo (transición de macho a hembra). Esto facilita el trabajo en las instalaciones acuícolas al momento de hacer la revisión de la madurez gonadal de los peces y en la selección y elección de las hembras y los machos para la inducción al desove. La experiencia de los autores ha indicado que los ejemplares adultos a los que no se les logra extraer gametos durante el muestreo anual en la temporada reproductiva sean considerados como intersexo, puesto que, al tercer año consecutivo de

revisión, los animales ya producen ovocitos (M. Contreras-García, comunicación personal, 3 de noviembre de 2023).

La canulación consiste en introducir unos 5 a 8 cm de una sonda (se recomienda emplear una sonda orogástrica de polivinilo empleada para alimentación de bebés prematuros). La sonda se introduce por el conducto gonadal hasta topar con la gónada de la hembra y comenzar a succionar con la boca o jeringa, al mismo tiempo que se retira la cánula. La cánula debe desinfectarse con una solución de alcohol antes de pasar a usarse en otro ejemplar, para evitar contaminaciones entre peces. Si los ovocitos son de un diámetro mayor o igual a 350 μm , se realiza la inducción al desove usando hormonas liberadoras de gonadotropina, que han funcionado con resultados satisfactorios en implantes (Contreras-García, 2011; Contreras-García *et al.*, 2015; Contreras-Sánchez, *et al.*, 2015).

Inducción de la reproducción

Es indispensable controlar los procesos reproductivos de peces en cautiverio para lograr el éxito en los objetivos del cultivo acuícola, para obtener gametos y juveniles de buena calidad y que el cultivo sea sustentable. En algunas especies, la actividad reproductiva cesa como consecuencia del manejo y presencia humana. Sin embargo, es posible lograr el control ambiental manipulando parámetros como la profundidad del

agua, el fotoperiodo y la temperatura, agregando sustratos en aquellas especies que necesitan adherir sus huevos o induciendo a los peces a la reproducción mediante hormonas sexuales. Este último recurso ha dado excelentes resultados en la obtención de semilla de buena calidad, lo que hace eficiente el manejo operativo en las instalaciones acuícolas (Mylonas y Zohar, 2007).

En el Golfo de México, los róbalos maduran a partir de marzo y hasta octubre. El desove ocurre cada uno a tres días a partir del primer evento en condiciones naturales (Taylor *et al.*, 1998). En condiciones de cautiverio con ejemplares provenientes del medio silvestre, en la Estación de Acuicultura Marina, las primeras inducciones al desove se realizan al tercer año del cautiverio, pues se ha observado que antes de ese periodo los peces no responden al estímulo hormonal (Contreras-García, 2011, Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). En la Estación de Acuicultura Marina, en la inducción al desove se emplean hembras con ovocito de tamaño de diámetro a partir de 300 μm recolectados a partir de canulación con una sonda para alimentación de humanos prematuros. Las hembras y machos se seleccionan del tanque de descanso y se anestesian con aceite de clavo a una relación de 0,5 mL/L de agua, y se coloca a una hembra y, como mínimo, dos machos. A estos últimos, se les hace leve presión abdominal para obtener semen, o, en su defecto, se procede con la canulación (Figura 14).

Figura 14. Anestesia de reproductores y colecta de muestra para observación del grado de maduración de los gametos por canulación



Fuente: Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez; María de Jesús Contreras García.

Posteriormente, los peces son colocados en un tanque de geomembrana de 4 m de diámetro con agua de mar a partir de 33 UPS y temperatura de 26 a 28 °C (Contreras-García, 2011; Contreras-García *et al.*, 2015; Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). El evento reproductivo, tras la inducción hormonal, se presenta entre 24 y 72 horas post-implante de 100 o 200 µg de GnRH-a/hembra, coincidiendo con lo que se presenta en el medio natural, con desoves fraccionados entre cada segundo a tercer día (Contreras-García, 2011; Contreras-García *et al.*, 2015; Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). Mientras se espera desove, los peces nadan en círculos de frente subiendo y bajando en espiral en la columna de agua;

posteriormente, la hembra va expulsando los huevos y los machos van fertilizándolos (Contreras-García, 2011).

Colecta de huevos y manejo de embriones

Los huevos fertilizados son pelágicos, mientras que los inviables se precipitan. La colecta de huevos se realiza haciendo arrastres con una malla de tela de organza de 400 µm de diámetro en la superficie del tanque de desove (Figura 15). Se estima la cantidad de huevos por volumetría y posteriormente se espera a que se precipiten los huevos no fértiles, que se distinguen de los fértiles por mantenerse en el fondo y presentar color blanco; una vez sedimentados se pueden retirar por succión con un sifón (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015).

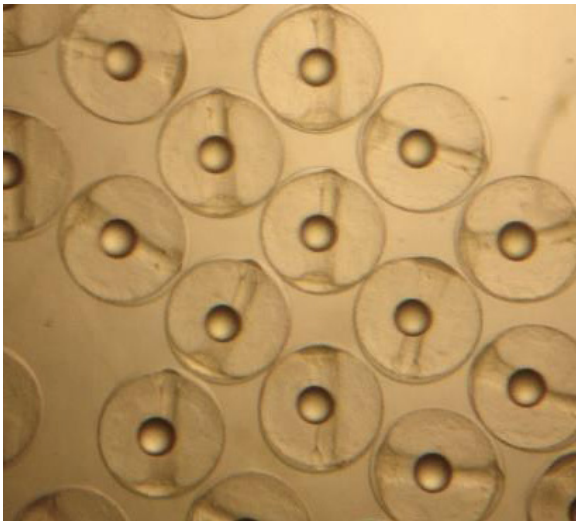
Figura 15. Recolecta de huevos *Centropomus undecimalis* del estanque de reproducción



Fuente: Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez.

A los huevos fertilizados se les coloca aireación y se envían a los tanques de larvicultura (Contreras-García, 2011; Contreras-García *et al.*, 2015; Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). Los huevos fertilizados miden en promedio $746,50 \pm 2,12 \mu\text{m}$ y es posible identificar al microscopio las divisiones celulares en la primera hora a partir de que se presenta el desove, y aproximadamente dos horas después se observa el embrión en desarrollo (Figura 16). El porcentaje de fertilización se realiza por conteo directo, que por lo general está entre 76 % y 100 %. La eclosión se presenta alrededor de doce horas después de la fertilización, con porcentajes que varían entre 50 % y 100 %. (Contreras-García, 2011; Contreras-García *et al.*, 2015; Contreras-Sánchez *et al.*, 2015).

Figura 16. Embriones de *Centropomus undecimalis* producidos en cautiverio



Fuente: Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez.

Larvicultura

La larvicultura y crecimiento de cría generalmente dura entre dos y tres meses. En algunas especies como *Centropomus parallelus*, se ha documentado que la fase larval se puede subdividir en etapas. Durante la primera etapa, hay un crecimiento inicial acelerado que incluye el consumo rápido del vitelo. La segunda etapa se caracteriza por un crecimiento lento con la transición a la alimentación exógena (las larvas utilizan restos de vitelo, gotas de aceite y la ingestión del alimento exógeno) y se inicia la locomoción. En la tercera etapa comienza un crecimiento ligeramente rápido, incluyéndose en su alimentación rotíferos enriquecidos con ácidos grasos. La etapa final se caracteriza por un crecimiento rápido, ligeramente exponencial, alimentación eficiente y locomoción basada en la captura de presas como metanauplios de *Artemia* (Álvarez-Lajonchère y Hernández-Molejón, 2001).

En la Estación de Acuicultura Marina, Los hallazgos observados en *C. undecimalis* indican que la cantidad de larvas producidas varía con la talla de la hembra, obteniéndose un poco más de un millón de larvas en hembras con pesos por arriba de 4 kg. Las larvas son muy transparentes en los primeros días y presentan una talla entre $1,56 \pm 0,09$ y $1,98 \pm 0,05$ mm de longitud (Contreras-García, 2011; Contreras-García *et al.*, 2015; Con-

treras-Sánchez *et al.*, 2015). Se recomienda que una vez que las larvas eclosionan, estas sean manipuladas y transportadas a los tanques de larvicultivo al día siguiente de la eclosión. Pasado un día, las larvas presentan mayor mortalidad por el estrés de la captura y el traslado.

Las larvas al nacer tienen un diámetro de boca promedio de 100µm, por lo que se hace indispensable producir neonatos de rotíferos suficientes para garantizar su alimentación (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). Las etapas de crecimiento larval de esta especie no son diferentes a las de *C. parallelus* (Álvarez-Lajonchère y Hernández-Molejón, 2001); en la primera semana de vida las larvas se mantienen verticales en la columna de agua con la cabeza hacia el fondo y el crecimiento es lento. En la segunda semana de vida se da la transición a la alimentación exógena a base de rotíferos para el róbalo blanco. Durante los primeros meses de vida las larvas son muy sensibles al contacto físico, por lo que durante esta fase deben manipularse lo menos posible. Las larvas son alimentadas desde el primer día de cultivo para evitar mortalidad, misma que se presenta masivamente hasta la primera semana de vida; pasado este periodo, es posible que se logre obtener una sobrevivencia de alrededor del 1 % (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015).

La larvicultura en la Estación de Acuicultura Marina se ha llevado a cabo en tanques de fibra de vidrio de fondo azul de 500 L de capacidad (Figura 17), con

iluminación constante por 12 horas y 12 horas de oscuridad, con la finalidad de que puedan visualizar su presa y que el periodo de alimentación sea adecuado.

Figura 17. Tanques de fibra de vidrio en donde se lleva a cabo la larvicultura de róbalo durante 45 días



Fuente: Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez.

La temperatura se controla para hacer más eficiente el crecimiento en las primeras etapas de desarrollo. El agua se airea constantemente con un tamaño de burbuja según el tamaño de la larva y se siembra a una densidad de 200 larvas/L de agua. En el tanque de larvicultura se colocan microalgas *Nannochloropsis oculata* y *Tetraselmis chuii* desde el primer día, a razón de $2-4 \times 10^5$ células, hasta los primeros 20 días de vida; rotíferos (*Brachionus rotundiformes* y *B. plicatilis*), a una densidad de 10 mL de rotífero por cada mL de agua, durante los primeros 11 días. A partir del día 12 se incrementa a 20 rotíferos/mL de agua, hasta alcanzar los 20 días de vida. Desde el día 13 se

realiza la coalimentación con nauplios de *Artemia*, a una densidad de 1 mL de nauplio/mL de agua, hasta el día 20. Se agregan 3 mL de metanauplios de *Artemia* del día 19 al día 36; y finalmente se utiliza alimento balanceado para trucha marca Silver Cup® a saciedad del día 34 en adelante. Es importante complementar la alimentación con *Artemia* adulta una vez por semana y con crías de peces para evitar la mortalidad de aquellos ejemplares que pudieran considerarse débiles y con dificultad en aceptar el alimento balanceado; de igual manera, durante esta etapa se recomienda un recambio de agua diaria del 80 % para mantener una buena calidad (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). El ambiente marino se mantiene durante los primeros 90 días y se reduce la salinidad 5 UPS cada día cuando se observen movimientos veloces en círculo alrededor del tanque de cultivo (característica que da la pauta para considerar una conducta migratoria hacia las lagunas costeras, en el caso del medio silvestre), hasta llegar a 15 UPS (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015).

Crianza

En la cría de juveniles de peces marinos es fundamental mantener un ambiente adecuado, libre de ruidos o factores estresantes que puedan debilitar el sistema inmune de los peces y ser susceptibles de enfermedades. Asimismo, se debe garantizar una buena calidad del agua, suministrar una dieta adecua-

da y mantener la limpieza e higiene de utensilios y del personal de trabajo. También es recomendable el uso de probióticos. Se considera el uso de dos a cuatro juveniles por litro para el caso de *C. undecimalis* (Álvarez-Lajonchère y Hernández-Molejón, 2001). En *C. undecimalis*, la siembra de juveniles se realiza en tanques de fibra de vidrio con temperatura controlada (Figura 18).

Figura 18. Juveniles de róbalo en tanques de fibra de vidrio consumiendo alimento balanceado



Fuente: Wilfrido Miguel Contreras-Sánchez.

El suministro de alimento se realiza de tres a cinco veces al día, usando alimento balanceado para trucha marca Silver Cup®, que se humedece para que se hunda y sea capturado por los peces, o con alimento para peces marinos marcas Winfish® o Skretting®. La alimentación se lleva a cabo a saciedad y se procura suministrar el alimento por lo menos cuatro veces al día (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). En la Estación de Acuicultura Marina, la calidad del agua se mantiene

sifoneando restos de excreta y alimento no consumido diariamente y realizando recambios de agua cada tercer día o manteniendo sistemas de recirculación (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015).

Engorda

La engorda del róbalo se encuentra aún en fase experimental. Si bien existen diversos estudios con especies de róbalos en México, Colombia y Brasil, aún no se ha logrado diseñar una estrategia sólida que consolide la engorda de la especie y no se han desarrollado alimentos comerciales para este grupo de peces. Sin embargo, diversas experiencias empíricas y científicas han reportado crecimientos importantes en cautiverio. En juveniles de *C. undecimalis* provenientes del medio silvestre en Tabasco, México, con talla inicial en promedio de $14,65 \pm 4,66$ cm y una densidad de 25 peces/m³, se ha observado que estos peces se adaptan fácilmente a condiciones de cautiverio, comienzan a aceptar el alimento balanceado a partir del segundo o tercer día. Durante un año lograron alcanzar 0,03 cm/día. En cuanto al peso, incrementaron 0,33 g/día y al final tuvieron $26,30 \pm 24,05$ g (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). La tasa de conversión de alimento fue de 2,43 usando un alimento balanceado semihúmedo elaborado con harina de pescado, filete de pescado molido, harina de camarón, aceite de pescado, lecitina de soya, premezcla de vitaminas y minerales, vitamina C, gelatina sin sa-

bor, leche de soya y harina de sorgo. La sobrevivencia al final de esta etapa puede ser mayor al 60 %. Estos resultados se obtienen cuando el oxígeno disuelto se mantiene por arriba de 6,0 mg/L; la temperatura en 28 °C y el pH en 7,0 UI, en un sistema de recirculación cerrado (Contreras-Sánchez *et al.*, 2015). Otros trabajos con juveniles de *C. undecimalis* han evaluado los parámetros de crecimiento, utilizando estimuladores de crecimiento (probióticos y vitamina C) en alimento al 55 % de PB a una concentración de 1×10^9 ufc/kg y 800 µg/kg respectivamente, se inició con una talla y peso promedio de $17,85 \pm$ cm y $46,3 \pm$ g respectivamente, la densidad de siembra empleada fue de 10 peces por tanques de 2,000 L de capacidad y se evaluó durante 60 días de cultivo en ambiente marino. Los resultados arrojados entre los tratamientos evaluados: control, alimento con probiótico y alimento con vitamina C, en las variables: Ganancia en peso (GP), Ganancia en talla (GT), Tasa específica de crecimiento (SGR) y Supervivencia (S), no presentaron diferencia estadística entre los tratamientos y el control ($P > 0,05$) (Tabla 1).

Caso diferente se observó en el Factor de Condición (K), Factor de Conversión Alimenticia (FCA) y la Tasa de Eficiencia Proteica (PER), en las cuales hubo diferencias estadísticas significativas. Para el caso del FCA, el tratamiento probiótico tuvo un valor de 3,69; el de vitamina C, 3,40; y el grupo de control, 7,63, siendo este último el que presentó una mayor

relación de conversión al momento de consumir el alimento. Para el caso del PER no se presentó diferencia significativa ($p > 0.8$) entre los tratamientos con probiótico y vitamina C, presentado valores de $17,7 \pm 5,6$ y $14,8 \pm 2,0$ respectivamente. No obstante, sí se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos y el control con un valor de $7,7 \pm 3,0$, evidenciándose la menor eficiencia

en términos de asimilación de proteína por parte de este tratamiento. En cuanto al Factor de Condición (K), no presentó diferencias estadísticas significativas con un ($p > 0.6$) entre los tratamientos, por lo que tuvo un buen desempeño en las condiciones de bienestar en los juveniles de *C. undecimalis* cultivados en condiciones de laboratorio en ambiente marino (Pulgar, 2023).

Tabla 1. Desempeño de *Centropomus undecimalis* ante distintas dietas

Variable	Tratamiento		
	Control	Probiótico	Vitamina C
Ganancia en talla (cm)	$1,24 \pm 0,82$	$1,87 \pm 0,41$	$1,94 \pm 0,52$
Ganancia en peso (g)	$10,33 \pm 7,29$	$23,85 \pm 3,41$	$20,0 \pm 3,99$
Tasa específica de crecimiento - SGR (%)	$0,16 \pm 0,04$	$0,49 \pm 0,32$	$0,45 \pm 0,22$
Supervivencia (%)	100	100	100

Reversión sexual inducida en Centropómidos

La reversión sexual inducida en esta especie hermafrodita representa una estrategia interesante para obtener hembras de talla pequeña que pueden aportar cientos de miles de huevos por desove. En el róbalo blanco se ha probado la reversión sexual inducida (anticipadamente a que se dé el evento de manera natural) en la Estación de Acuicultura Marina. Para ello, se ha empleado la técnica de administración oral, en donde el alimento se impregna con la hormona

y tras el secado se debe suministrar por 28 días en cuatro raciones, cada dos horas. Este método ha permitido porcentajes de hembras en *C. undecimalis* de hasta 93 % a partir de juveniles silvestres, aplicando 50 mg de E2/kg de alimento en diferentes tiempos de administración, con buenos resultados a partir del día 21 de administración del esteroide (Vidal-López *et al.*, 2012).

Recientemente, se realizó la inducción de cambio de sexo en machos adultos jóvenes (producidos en cautiverio a partir de padres silvestres, por lo que se conoce la edad de los peces) median-

te el uso de implantes de estradiol (E2), en combinación con la manipulación del fotoperiodo para evaluar su posible impacto en la aceleración de la maduración. Se logró obtener 100% hembras con el uso de 2 mg/kg de pez, y aunque no hubo efecto en la maduración de las hembras recién obtenidas, la viabilidad de estas se confirmó un año después. Es importante resaltar que con este protocolo de cambio de sexo anticipado hay un mejor manejo en cautiverio de reproductores de la especie, obteniéndose hembras viables a temprana edad, de tallas pequeñas y fácilmente manipulables, lo que permite el ahorro en espacio y alimento para peces (Contreras-García *et al.*, 2023).

Cuidados del pool genético

En la diversidad genética reside la capacidad de respuesta de las poblaciones ante cambios ambientales inesperados y fluctuaciones demográficas, y su magnitud es un indicador de la salud de una población o de una especie, por lo tanto, su escasez o ausencia limita la capacidad de respuesta de una población a un medio cambiante en el corto y largo plazo (Gautschi *et al.*, 2002). De este modo, es muy importante mantener la diversidad genética tanto en poblaciones libres como en cautiverio para evitar la depresión por endogamia o exogamia (Abdul-Muneer, 2014). Se recomienda introducir cada año ejemplares nuevos al laboratorio de róbalo para

evitar problemas de consanguinidad que puedan causar malformaciones en los embriones o índices reproductivos bajos. La introducción o reemplazo de nuevos ejemplares asegura la diversidad genética en la población cautiva (Álvarez-Lajonchère y Hernández-Molejón, 2001). Una alternativa para permitir la diversidad genética en peces cautivos es mediante el uso de esperma criopreservado, recogido de diferentes machos del medio silvestre, hecho que podría ser económico y fácil de mantener (Abdul-Muneer, 2014).

Conclusiones y recomendaciones

El cultivo del róbalo *C. undecimalis* ha emergido como un área muy prometedora, pues varios pasos del cultivo ya son ampliamente dominados en varios países de América, como es el caso de México, cuyos avances se encuentran plasmados en el presente documento. Entre ellos, se destaca la reproducción inducida, la larvicultura, la reversión sexual y el mantenimiento de lotes de reproductores en cautiverio. A pesar de que la fase de engorde se encuentra actualmente en una etapa experimental, los resultados obtenidos hasta ahora sugieren un potencial significativo para el desarrollo sostenible de esta especie. Además del aspecto comercial, el cultivo del róbalo tiene importantes implicaciones para la conservación de la especie en su hábitat natural. Al criar róbalo en cautiverio se reduce la presión sobre las poblacio-

nes silvestres y se puede contribuir a la repoblación, lo que contribuye a la preservación de la biodiversidad marina. El cultivo del róbalo ofrece oportunidades económicas y contribuye a la conservación de esta valiosa especie. Con esfuerzos continuos en investigación y desarrollo, es plausible que esta práctica se convierta en una fuente confiable y sostenible de producción acuícola en el fu-

turo. Sin embargo, a pesar de los logros alcanzados hasta ahora, es crucial seguir investigando y perfeccionando las técnicas de engorda, para garantizar la viabilidad a largo plazo de esta industria. Las investigaciones futuras deben centrarse en optimizar las condiciones de cría, mejorar la calidad del alimento y desarrollar prácticas de manejo ambientalmente responsables.

Referencias

- Abdul-Muneer, P. M. (2014). Application of microsatellite markers in conservation genetics and fisheries management: recent advances in population structure analysis and conservation strategies. *Genetics Research International*, 2014. 691759. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/691759>
- Álvarez-Lajonchere, L. y Hernández-Molejón, O. G. (2001). *Producción de juveniles de peces estuarinos para un Centro en América Latina y el Caribe: Diseño, Operación y Tecnologías*. The World Aquaculture Society.
- Barton, B. A. (2000). Stress. En R. Stickney (Ed.), *Encyclopedia of Aquaculture* (pp. 892-98). John Wiley and Sons.
- Berka, R. (1986). *The transport of live fish: a review*. EIFAC Technical Paper 48. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/af000e/af000e.pdf>
- Brame, A. B., McIvor, C. C., Peebles, E. B. y Hollander, D. J. (2014). Site fidelity and condition metrics suggest sequential habitat use by juvenile common snook. *Marine Ecology Progress Series*, 509, 255-269. <https://doi.org/10.3354/meps10902>
- Cabello, F. C. (2004). Antibióticos y acuicultura en Chile: consecuencias para la salud humana y animal. *Revista médica de Chile*, 132(8), 1001-1006. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872004000800014>
- Carpenter, K. E. (Ed.). (2002). *The living marine resources of the Western Central Atlantic*. Vol. 2: Bony fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). En *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication* núm. 5.

- Contreras-García M. J., Contreras-Sánchez, W. M., Mendoza-Carranza, M., Mcdonal-Vera, A., Cruz-Rosado, L. (2023). Induced sex reversal in adult males of the protandric hermaphrodite *Centropomus undecimalis* using 17-estradiol: enhancing management strategies for captive broodstock. *Aquaculture Journal*, 3(3), 196-208. <https://doi.org/10.3390/aquacj3030016>
- Contreras-García, M. J. (2011). Inducción de la reproducción en *Centropomus undecimalis* y *Centropomus parallelus* bajo condiciones de cautiverio empleando inyecciones e implantes de GnRH-a [Tesis de maestría, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco].
- Contreras-García, M. J., Contreras-Sánchez, W. M., Hernández-Vidal, U. y Mcdonal-Vera, A. (2015). Induced spawning of the common snook (*Centropomus undecimalis*) in captivity using GnRH-a implants. *Ecosist. Recursos Agropecuarios*, 2(6), 357-362. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000300011&lng=es&tlng=en.
- Contreras-Sánchez, W. M., Contreras-García, M. J., Mcdonal-Vera, A., Hernández-Vidal, U., Cruz-Rosado, L. y Martínez-Garza, R. (2015). *Manual para la producción de róbalo blanco (Centropomus undecimalis) en cautiverio* (2da ed.). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://pcientificas.ujat.mx/index.php/pcientificas/catalog/download/76/67/270-1?inline=1>
- Cressey, R. F. (1982). Branchiura. En S. H. Hurlbert y A. Villalobos-Figueroa (Eds.), *Aquatic biota of Mexico, Central America and the West Indies. being a compilation of taxonomic bibliographies for the fauna and flora of inland waters of Mesoamerica and the Caribbean region* (pp. 196-197). San Diego State University.
- Cruz-Botto, S., Roca-Lanao, B., Gaitán-Ibarra, S., Chaparro-Muñoz, N. y Villamizar, N. (2018). Natural vs laboratory conditions on the reproductive biology of common snook *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). *Aquaculture*, 482, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.013>
- Duarte L. O., De la Hoz Maestre, J., Martínez, A., Rodríguez J. y Manjarrés-Martínez, L. (2019). *Parámetros biológico-pesqueros obtenidos a partir del monitoreo de los desembarcos de las pesquerías artesanales de Colombia efectuado durante el periodo febrero-diciembre de 2019*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP).
- El Aamri, F. (2010). *Patogenicidad de Streptococcus iniae en acuicultura* [Master's thesis, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/6467/4/0639679_00000_0000.pdf
- Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura [FIPA]. (2017) *Impactos asociados con el uso extra etiqueta del principio activo oxitetraciclina, vía intraperitoneal en centros de cultivo de salmónidos sobre el programa de control de fármacos vigente*. Informe Final, FIPA n.º 2014-91. https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-92057_informe_final.pdf

- Gaitán, S., De La Rosa, F., Cruz-Botto, S. y Villamizar-Villamizar, N. (2023). Evaluación de los indicadores de crecimiento y desarrollo gonadal de juveniles de róbalo común (*Centropomus undecimalis*), durante el proceso de feminización en dos ambientes de cultivo. En P. Aguilera Aguilera, M. I Sáez Casado, A. F. Cortés, A. G. Díaz, A. J. Mendoza Fernández (Eds.), *Libro de Resúmenes del I Congreso Iberoamericano y IV Congreso Internacional Jóvenes Investigadores del Mar* (pp. 189-190). Editorial Universidad de Almería.
- Gautschi, G., Widmer, A., Josh, J. y Koella, J. C. (2002). Increased frequency of scale anomalies and loss of genetic variation in serially bottlenecked populations of the dice snake, *Natrix tessellata*. *Conservation Genetics*, 3, 235-245. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1019924514465.pdf>
- Gilmore, R. G., Donohoe, C. J. y Cooke, D. W. (1983). Observations on the distribution and biology of east-central Florida populations of the common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch). *Florida Scientist*, 46(3/4), 313-336. <http://www.jstor.org/stable/24320342>
- Grier, H. J. (1985). Reproduction of the snook, *Centropomus undecimalis*: Structure of the testis I reproductive males. *Proc. World Marine Soc. 16th Annual Meeting*, 13-17.
- Grijalba-Bendeck, M., Bustos Montes, D., Posada Peláez C. y Santafé-Muñoz, A. M. (2012). *La pesca artesanal marítima del departamento del Magdalena: una visión desde cuatro componentes*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Grijalba-Bendeck, M., Leal-Flórez, J., Bolaños-Cubillos, N. y Acero, A. (2017). *Centropomus undecimalis*. En L. Chasqui, A. Polanco, A. Acero, P. Mejía-Falla, A. Navia, L. F. Zapata y J. P. Caldas (Eds.), *Libro rojo de peces marinos de Colombia* (pp. 224-227). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Serie de Publicaciones Generales de INVEMAR # 93.
- Guffey, S., Esbaugh, A. y Grosell, M. (2011). Regulation of apical H⁺-ATPase activity and intestinal HCO₃⁻ secretion in marine fish osmoregulation. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 301(6), R1682-R1691. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00059.2011>.
- Hemre, G. I. y Kroghdahl, Å. (1996). Effect of handling and fish size on secondary changes in carbohydrate metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Nutrition*, 2(4), 249-252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.1996.tb00067.x>
- Hernández-Vidal, Contreras-Sánchez, W. M., Chiappa-Carrara, X., Hernández-Franyutti, A. y Uribe, M. C. (2021). Common snook reproductive physiology in freshwater and marine environments of Mexico. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 54(5-6), 203-225. <https://doi.org/10.1080/10236244.2021.1993068>.

- Hernández-Vidal, U., Chiappa-Carrara, X. y Contreras-Sánchez, W. (2014). Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva-Usumacinta fluvial system. *Ciencias Marinas*, 40(3), 173-185. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v40i3.2381>
- Lira, A., Angelini, R., Le Loc'h, F., Ménard, F., Lacerda, C., Frédou, T., y Frédou, F. L. (2018). Trophic flow structure of a neotropical estuary in northeastern Brazil and the comparison of ecosystem model indicators of estuaries. *Journal of Marine Systems*, 182, 31-45. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.02.007>
- Lowerre-Barbieri, S. K., Vose, F. E. y Whittington, J. A. (2003). Catch -and-release fishing on a spawning aggregation of common snook: Does it affect reproductive output? *Transactions of The American Fisheries Society*, 132, 940-952.
- Malinowski, C., Cavin, J., Chanton, J., Chasar, L., Coleman, F. y Koenig, C. (2019). Trophic relationships and niche partitioning of Red Drum *Sciaenops ocellatus* and Common Snook *Centropomus undecimalis* in coastal estuaries of South Florida. *Estuaries and coasts*, 42, 842-856. <https://doi.org/10.1007/s12237-018-00512-y>
- McMichael, R. H. Jr., Peters, K. M. y Parsons, G. R. (1989). Early life history of the snook *Centropomus undecimalis*, in Tampa Bay, Florida. *Northeast Gulf Science*, 10 (2): 113-125.
- Mylonas C. C. y Zohar, Y. (2007) Promoting oocyte maturation, ovulation and spawning in farmed fish. En P. J. Bain, J. Cerdá y E. Lubzens (Eds.), *The fish oocyte from basic studies to biotechnological application* (pp. 438-474). Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6235-3>
- Navarro, J. y López, O. (2019). Estudio de la actividad locomotora del róbalo (*Centropomus undecimalis*) bajo tres horarios de alimentación [Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena]. <https://repositorio.unimagdalena.edu.co/items/bb633070-eb58-4d01-86eb-1297d29dece1/full>
- Navas, J. M., Bruce, M., Turush, M., Farndale, B. M., Bromage, N., Zanuy, S., Carrillo, M., Bell, J. G. y Ramos, J. (1997). The impact of seasonal alteration in the lipid composition of broodstock diets on egg quality in the European sea bass. *Journal Fish Biology*, 51(4), 760-773. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01997.x>
- Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the World*. John Wiley and Sons Inc.; Hoboken.
- Oliveros-Oliveros, L.P. (2015). Detección de encefalopatía y retinopatía vírica (ver) en cultivos de cobia (*Rachycentron canadum*) y reproductores de mero guasa (*Epinephelus itajara*) en el Caribe colombiano con la técnica transcriptasa reversa (RT-PCR) [Tesis de grado, Universidad de La Salle]. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1436&context=zootecnia>
- Pandian, T. J. (2010). *Sexuality in Fishes*. CRC Press.

- Perera-García, M. A., Mendoza-Carranza, M., Contreras-Sánchez, W. M., Huerta-Ortíz, M. y Pérez-Sánchez, E. (2011). Reproductive biology of common snook *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae) in two tropical habitats. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 669-681. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442011000200011&lng=en&tlng=en.
- Peters, K. M., Matheson Jr, R. E. y Taylor, R. G. (1998). Reproduction and early life history of common snook, *Centropomus undecimalis* (Bloch), in Florida. *Bulletin of Marine Science*, 62(2), 509-529. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/1998/00000062/00000002/art00015>
- Pickford, G. E., Srivastava, A. K., Slicher, A. M. y Pang, P. K. (1971). The stress response in the abundance of circulating leucocytes in the killifish, *Fundulus heteroclitus* L. The cold-shock sequence and the effects of hypophysectomy. *Journal of Experimental Zoology*, 177(1), 89-96. <https://doi.org/10.1002/jez.1401770110>
- Piedrahita R. H., (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), 35-44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- Polonia-Rivera, C., Gaitan, S., Chaparro-Muñoz, N. y Villamizar, N. (2017a). Captura, transporte y aclimatación de juveniles y adultos de róbalo *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). *Revista Intropica*, 12(1), 61-64. <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2035>
- Polonia-Rivera, C., Gaitan, S., Chaparro-Muñoz, N. y Villamizar, N. (2017b). Effect of three diets in the experimental culture of the common snook (*Centropomus undecimalis* Bloch, 1792). *Revista MVZ Córdoba*, 22(3), 6287-6295. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1133>
- Polonia-Rivera, C., Gaitan, S., Ruíz, J., Villamizar, N. y Chaparro-Muñoz, N. (2016). Evaluación económica del cultivo de róbalo (*Centropomus undecimalis*) en estanque de agua dulce. *Agronomía Colombiana* 34(1), S44-S47.
- Posada-Peláez, C., Santafé-Muñoz, A., Grijalba-Bendeck, M., Bustos-Montes, D., González-Sarmiento, E., De La Hoz-Maestre, J., Castro-Martínez, L., Gómez-Cubillos, C., Guerrero-Berna, P., Olaya-Reyes, C., Palacio-Barros, C. M. y Restrepo-Gómez, D. (2012). Aspectos biológicos de *Centropomus undecimalis* (róbalo) capturado por la pesca artesanal en el departamento del Magdalena, Caribe colombiano. En M. Grijalba-Bendeck, D. Bustos-Montes, C. Posada-Peláez y A. M. Santafe-Muñoz (Eds.), *La pesca artesanal marítima del departamento del Magdalena. Una visión desde cuatro componentes* (pp. 157-173). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social; Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano; Instituto Colombiano de Desarrollo Rural.
- Pottinger, T. G. (1998). Changes in blood cortisol, glucose and lactate in carp retained in anglers' keepnets. *Journal of Fish Biology*, 53(4), 728-742. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb01828.x>

- Pulgarin, A. (2023). *Evaluación de dietas enriquecidas con estimuladores de crecimiento sobre el desempeño productivo y hematológico de juveniles del róbalo, Centropomus undecimalis (Bloch, 1792) en condiciones cautiverio* [Pasantía de Investigación para optar al título de Ingeniero Pesquero, Universidad del Magdalena].
- Rangel-Durán, M. R., Cruz-Daza, I. D., De La Hoz-Maestre, J. y Manjarrés-Martínez, L. (2022). *Comercialización de productos pesqueros en 21 ciudades de Colombia durante el periodo enero-octubre de 2022*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP).
- Reyes, A., Kid, R., Moreno C. A. (2012). Captura y mantención de *Dissostichus eleginoides* para conformar un plantel de reproductores. *Latin American Journal Aquatic Research*, 40(4), 1066-1071. <http://dx.doi.org/103856/vol40-issue4-fulltext-21>
- Rivas, L. R. (1986). Systematic review of the perciform fishes of the genus *Centropomus*. *Copeia*, 1986(3), 579-611.1. <https://doi.org/10.2307/1444940>
- Robertson, L., Thomas, P. y Arnold, C. R. (1988). Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops ocellatus*) to several transportation procedures. *Aquaculture*, 68(2), 115-130. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90235-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90235-9)
- Ross, L. G. y Ross, B. R. (2008). *Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals* (3ª ed). Blackwell Science.
- Santos-Martínez, A. (1998). *Evaluación de los principales recursos pesqueros de la Ciénaga Grande de Santa Marta, costa Caribe colombiana*. INVEMAR, Santa Marta, Informe final.
- Sierra, P. C. (1996). Biología, ecología y algunos aspectos pesqueros del róbalo *Centropomus undecimalis* (Bloch 1792) (Pisces: Centropomidae) en la Bahía de Cispatá, Golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano [Tesis de pregrado, Universidad Jorge Tadeo Lozano]. <https://centrodocumentacion.invemar.org.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=2308>
- Souza, J. P., Nascimento, I. R. M. A., de Sousa Barros, M. F., da Silva Carvalho, A., da Silva Brito, P., Silva, Á. P. C. y de Almeida, Z. D. S. (2021). Ecología alimentaria do róbalo *Centropomus undecimalis* Bloch 1792 (Teleostei, Centropomidae) na região costeira do Maranhão. *Research, Society and Development*, 10(9), e52010918194-e52010918194. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18194>
- Taylor, R. G., Grier, H. J. y Whittington, J. A. (1998). Spawning rhythms of common snook in Florida. *Journal of Fish Biology*, 53(3), 502-520. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb00998.x>
- Taylor, R. G., Whittington, J. A., Grier, H. J. y Crabtree, R. E. (2000). Age, growth, maturation, and protandric sex reversal in common snook, *Centropomus undecimalis*, from the east and west coasts of South Florida. *Fishery Bulletin*, 98(3), 612-612.

- Teixeira, R. L. (1997). Distribution and feeding habits of the young common snook, *Centropomus undecimalis* (Pisces: Centropomidae), in the shallow waters of a tropical Brazilian estuary. *Bol. Mus. Biol. Mello Leitao (N. Ser)*, 6, 35-46.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T. y Vinci B. J. (2001). Recirculating aquaculture systems. En J. H. Tidwell (Ed.), *Aquaculture Production Systems* (pp. 245-277). Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons, Inc. DOI:10.1002/9781118250105
- Tucker, J. W. (1987). Snook and tarpon snook culture and preliminary evaluation for commercial farming. *The Progressive Fish-Culturist*, 49(1), 49-57. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1987\)49<49:SATSCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1987)49<49:SATSCA>2.0.CO;2)
- Tucker, W. J. y Campbell, W. S. (1988). Spawning season of common snook along the east central Florida coast. *Florida Scientist*, 51(1) 2-6.
- Vidal-López, J. M., Álvarez-González, C. A., Sánchez, W. M. C., Patiño, R., Hernández-Franyutti, A. A., Hernández-Vidal, U. y García, R. M. (2012). Feminización de juveniles del Róbalo Blanco *Centropomus undecimalis* (Bloch 1792) usando 17 β -estradiol. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 4, 83-93. <https://doi.org/10.15359/revmar.4.5>
- Villamizar, N., De Luque, A. y Gaitán-Ibarra, S. (2021). Evaluation of eugenol as a sedative for the transportation of common snook *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). *Aquaculture Research*, 52(11), 5898-5902. <https://doi.org/10.1111/are.15400>
- Young, J. M., Yeiser, B. G., Whittington, J. A. y Dutka-Gianelli, J. (2020). Maturation of female common snook *Centropomus undecimalis*: implications for managing protandrous fishes. *Journal of Fish Biology*, 97(15), 1317-1331. <https://doi.org/10.1111/jfb.14475>

Capítulo 3. Dieta de juveniles de róbalo *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) del municipio de Pueblo Viejo, departamento del Magdalena, Colombia

José Ángel Ospina
Oskarly Pérez-Anaya
Pedro Eslava-Eljaiek
César E. Tamaris-Turizo



Pescador de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Fuente: Cesar E. Tamaris-Turizo.

Resumen

El róbalo es una especie de gran importancia económica en el Caribe colombiano, considerada como oportunista en Brasil, México y Estados Unidos. En Colombia, los métodos nocivos de pesca y la degradación paulatina de su hábitat han provocado una disminución en su captura que se ha agudizado en el último decenio. El propósito de este estudio fue evaluar la composición de la dieta de juveniles de *Centropomus undecimalis* en el municipio de Pueblo Viejo (Magdalena), durante el periodo lluvioso y el inicio de la sequía. Se llevó a cabo una salida de campo mensual desde octubre de

2019 hasta enero de 2020. Se capturaron 112 individuos de *C. undecimalis*, de los cuales 29 (46 %) tenían contenido que se pudo identificar. Su dieta estuvo constituida principalmente por restos de peces (i. e. *Poecilia gillii*; IIR = 81,95), seguido de exosqueletos de crustáceos, material vegetal y restos de peces sin identificar.

Introducción

El género *Centropomus* (Perciformes) se encuentra comprendido por 12 especies distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales del océano Atlántico y Pacífico del continente americano; *Centropomus undecimalis* es la de mayor rango de distribución, debido a que se ha registrado desde las costas de La Florida en los Estados Unidos hasta las de Brasil (Rivas, 1986). Esta especie es conocida como róbalo común o róbalo blanco, es diádroma, demersal y hermafrodita protándrica; comúnmente habita en ambientes eurihalinos con sedimentos arenosos, aguas dulces y fondos fangosos no mayores a 20 metros de profundidad (Sánchez-Soto, 2020). Es la especie más grande dentro del género —puede alcanzar hasta 130 cm de longitud— y vive de seis a ocho años (Cervigon, 1996; Gilbert, 2005; Nelson *et al.*, 2016). En cuanto a sus hábitos alimentarios, se ha descrito como un oportunista que puede alimentarse de peces y pequeños crustáceos, lo que lo ubica en los niveles más altos de la red trófica (Adams *et al.*, 2009; Araújo *et al.*, 2011; Malinowski

et al., 2019). Además, se han evidenciado altos índices de canibalismo dentro del género (Luz *et al.*, 2001).

Los ambientes estuarinos son altamente productivos, principalmente por los aportes de los sistemas continentales. Estos sistemas albergan una gran diversidad de especies animales y vegetales con variadas estrategias reproductivas y alimentarias (De La Lanza-Espino *et al.*, 2013; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015). Debido a lo anterior, son altamente relevantes en los estudios de las relaciones tróficas (Duque, 1993), lo que indica que presentan una alta proporción (o cantidad) de interacciones tróficas entre especies (González, 2017). Los estudios realizados sobre el género *Centropomus* en los distintos territorios que conforman la Ciénaga Grande de Santa Marta, se han enfocado en los análisis de su abundancia, diversidad y aclimatación, comprobando que en estos sitios dominan en estadios juveniles (Ibarra *et al.*, 2013; Polonía-Rivera *et al.*, 2017). Fueron capturados 440 individuos de *O. saurus* y 104 de *O. palometa* utilizando un transmallo y una atarraya pequeña. Se determinó la relación longitud-peso, el factor de condición (K), lo que indica que presentan una alta proporción (o cantidad) de interacciones tróficas entre especies (Patiño González, 2017). Los estudios realizados sobre el género *Centropomus* en los distintos territorios que conforman la Ciénaga Grande de Santa Marta se han enfocado en los análisis de

su abundancia y diversidad, documentando que en estos sitios dominan en estadios juveniles (Ibarra *et al.*, 2013; Polonía-Rivera *et al.*, 2017).

Por su parte, el róbalo es una especie de gran importancia económica en todo el Caribe, muy apreciada por el tamaño que puede alcanzar y la alta calidad de su carne en términos proteicos (Polonia-Rivera *et al.*, 2016). En Colombia, los métodos nocivos de pesca y la degradación paulatina de su hábitat han provocado que se presente una sobreexplotación de la especie y una fuerte disminución en su captura en los últimos diez años, motivo por el cual fue considerada como especie vulnerable (Chasqui-Velasco *et al.*, 2017), aunque The IUCN Red List of Threatened Species la categoriza como "preocupación menor". Asimismo, gracias a su amplia distribución espacial, es calificado como uno de los peces más importantes en distintos municipios de la CGSM. Este hecho facilita su captura por parte de las comunidades de pescadores que habitan en este complejo lagunar, lo que significa una valiosa fuente de empleo para los pescadores de esta región (Ibarra *et al.*, 2013).

En Brasil, México y Estados Unidos, se ha intentado cultivar el róbalo a gran escala, como un avance para la conservación de la especie y generar una fuente de ingresos económicos para las comunidades que lo realizan (Reyes *et al.*, 2004).

En Colombia, se destaca el estudio realizado por Polonía-Rivera *et al.* (2017) quienes estudiaron la viabilidad del cultivo de *C. undecimalis* como una solución

socioeconómica para las comunidades de la Ciénaga Grande de Santa Marta, para disminuir la presión de la pesca sobre dicho recurso.

Por tal motivo, el análisis de la dieta del róbalo se convierte en el método más expedito para mantener a los organismos en cautiverio (Segatti Hahn y Luciana Delariva, 2003), actuando este como la base para describir la trofodinámica de los individuos y, de esta forma, analizar la superposición del nicho ecológico, su competencia e interacciones intraespecífica e interespecíficas (Graham y Vrijenhoek, 1988); asimismo, ayuda a determinar el rol de un organismo en la red trófica del ecosistema donde se encuentre, que en este caso puede ser marino o costero (Hyslop, 1980). El estudio de dieta en peces permite esclarecer la presencia y distribución de las presas en su hábitat natural. Esto también contribuye a conocer cuál es la posición que ocupan dentro de la red trófica, y permite explicar cómo dichos hallazgos pueden estar supeditados al estado ambiental de la CGSM.

Por lo general, los estudios de las relaciones tróficas se realizan por medio del análisis de contenidos estomacales, que se basan en describir los tipos y cantidades de alimentos que ingieren (Figueroa-Eche, 2018; Ruíz-Pérez *et al.*, 2016), lo que genera información sobre la dinámica de las especies acuáticas consumidas (recursos) por medio de las variaciones de la dieta en el tiempo y espacio (Gulland, 1971). En muchas especies de peces se pueden presentar cambios en

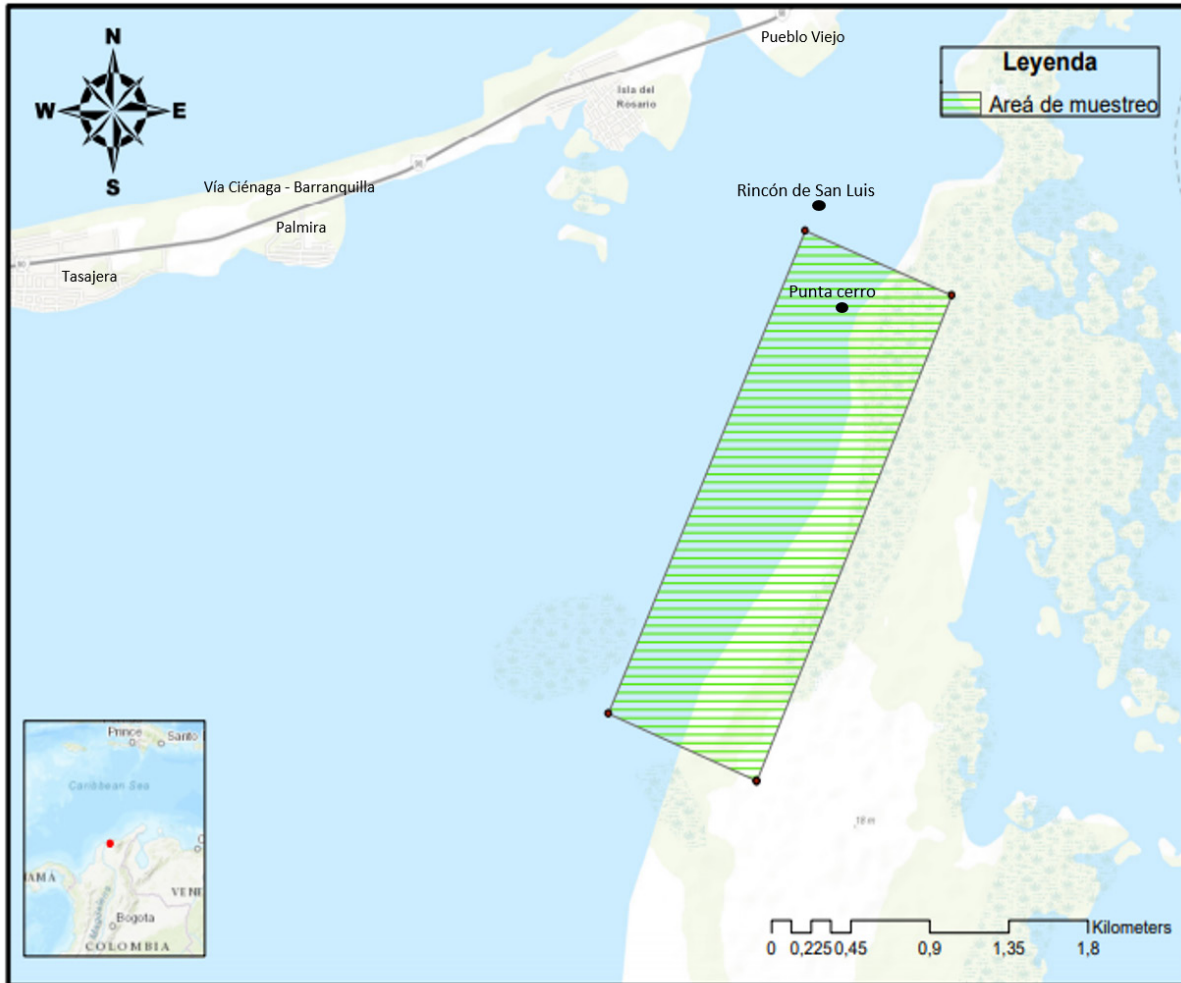
los hábitos alimentarios a lo largo del desarrollo, por lo que en la evaluación de las dietas deben considerarse dichos estados (Araújo *et al.*, 2011). Otro factor que condiciona la alimentación de estos individuos son las variaciones climáticas: por ejemplo, en temporada lluviosa, la disponibilidad de alimento en los ecosistemas cenagosos tiende a disminuir, ya que muchos organismos migran al mar para alimentarse o reproducirse (Guevara *et al.*, 2007; Lira *et al.*, 2017). Esta información relacionada con dinámica poblacional es de mucha importancia para la conservación de los ecosistemas (Tette Pomárico *et al.*, 2020; Vitule y Aranha, 2002). Es por esto que en este capítulo se aborda un caso de estudio de la composición de la dieta de juveniles del *Centropomus undecimalis* en el municipio de Pueblo Viejo, departamento del Magdalena, durante la temporada lluviosa.

La CGSM es la laguna costera estuarina más grande de Colombia (450 km²), ubicada al norte del departamento del Magdalena, conectada con el río Magdalena y los ríos que bajan de la Sierra Nevada de Santa Marta (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras [INVEMAR], 2018). Esta laguna ocupa un lugar relevante en la economía del país. Su valor socioeconómico está representado principalmente por los recursos pesqueros de los cuales dependen las poblaciones asentadas de la región. Por lo anterior, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como parte del

proceso de adhesión a la Convención Ramsar, designó a este humedal como el primer sitio Ramsar del país mediante decreto 224 de 1998, y la UNESCO lo instituyó como Reserva de la Biosfera en noviembre del 2000.

Los organismos utilizados en este estudio se obtuvieron mediante faenas de pesca realizadas en el municipio de Pueblo Viejo (Magdalena), sector norte de la CGSM (Figura 1), mediante colectas mensuales desde octubre de 2019 hasta enero de 2020. El esfuerzo de muestreo aplicado consistió en el lanzamiento de una atarraya de 4 m de largo y un tamaño de malla de 3 cm, dos veces en cada uno de los 24 puntos durante cada salida del muestreo. Los organismos capturados se colocaron en una cava con hielo para luego transportarla al laboratorio. Como datos complementarios se registró la temperatura del agua y la ambiental, pH del agua y los niveles de clorofila *a* en esta. A cada individuo se le registró la longitud y el peso total. Los peces se evisceraron siguiendo la metodología propuesta por Hyslop (1980), la cual consiste en realizar una incisión en la parte ventral desde la zona gular hasta el ano, extrayendo por completo el tracto digestivo, el cual fue colocado en recipientes rotulados con alcohol al 70 % para su preservación y posterior análisis. Los contenidos estomacales se identificaron hasta el nivel más detallado posible utilizando literatura especializadas (Mar-Silva *et al.*, 2014; Rodríguez, 1994).

Figura 1. Localización del área donde se ubicaron los puntos de colecta de *C. undecimalis*



Fuente: Los autores.

A partir de esta información, se procedió a determinar el índice de importancia relativa (IIR), para establecer la contribución de cada categoría de alimentos (Cortés, 1997). Con el fin de determinar la importancia de cada categoría de presas, se analizaron los porcentajes numéricos (%N) que se calculan del número total de individuos de un grupo encon-

trado en un estómago, expresado como un porcentaje del número total de individuos de todos los grupos hallados; volumen porcentual agregado (%W), que se obtiene del peso total de individuos de un grupo encontrado en un estómago y expresado como un porcentaje del peso total de todos los grupos hallados; y las frecuencias de ocurrencia (%Fo),

que se alcanza luego de calcular el número total de estómagos en los cuales se encuentra cada tipo de presa, expresado como porcentaje de aparición del total de estómagos revisados (Hyslop, 1980; Pinkas *et al.*, 1971). Por otro lado, la diversidad del espectro trófico fue calculada mediante el índice de Shannon-Wiener (Krebs, 1999), donde s es el número de presas identificadas y p_i = proporción de cada una de las presas que conforman la dieta de los depredadores. La escala de valores entre 0 a 6 es el indicativo de medición de esta escala; los valores inferiores a 3 indican que se tiene una dieta con poca diversidad, y valores mayores a 3, una alta diversidad.

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Por último, para comprobar la existencia de la relación entre el peso y la longitud del depredador versus la presa encontrada en los contenidos estomacales de este, se realizó una regresión lineal.

Descripción ambiental del área de muestreo

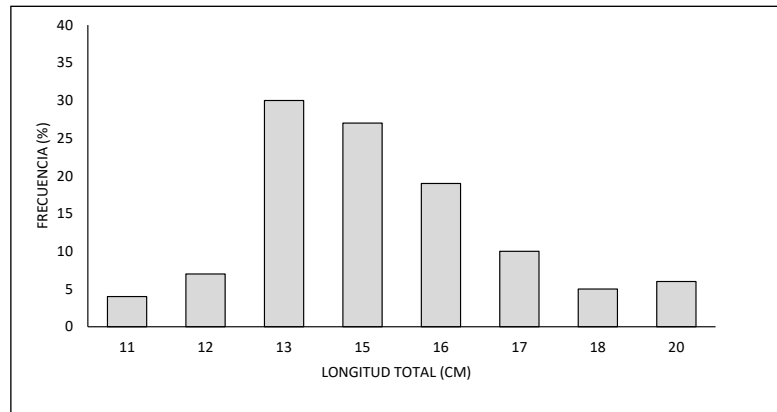
La temperatura media en el área de estudio fue de 25,4 °C ($\pm 2,2$ °C), el pH de 8,5 ($\pm 0,14$) y la clorofila *a* de 2,70 mg/m³ ($\pm 0,11$ mg/m³). Con respecto a la fluctuación periódica de dichas variables fisi-

coquímicas, se determinó que el mes de noviembre presentó los valores de temperatura más bajos con 24,5 °C, mes en el que también se registró el mínimo valor para pH con 8,2; por su parte, enero fue el mes de los extremos para estas dos variables donde se dieron los datos más altos, tanto para temperatura (27,3 °C) y el pH (8,7); por último, en octubre se registró el menor valor de la clorofila *a* con 2,6 mg/m³, mientras que en enero fue más alto (2,9 mg/m³).

Dieta de *C. undecimalis*

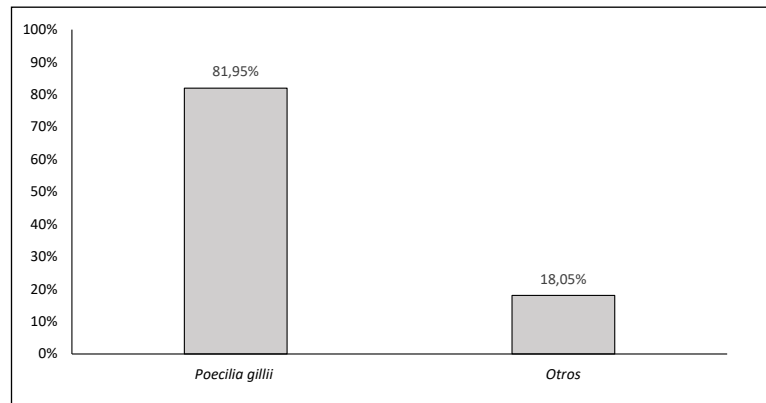
Se capturaron 112 individuos de *C. undecimalis*, de los cuales 63 (58 %) presentaron algún tipo de contenido estomacal; las longitudes de los organismos capturados estuvieron entre los 10,3 cm y 20,2 cm (promedio = 14,7 $\pm$ 1,5 cm) (Figura 2). En cuanto al peso de los róbalo, los valores oscilaron entre 7,3 y 62,48 gramos (promedio = 23,3 $\pm$ 12,2g). La dieta de los juveniles de róbalo en el sector de la Ciénaga Grande de Santa Marta analizada, estuvo compuesta principalmente por peces de la especie *Poecilia gillii* Kner, 1863 (IIR = 81,95 %; peso promedio = 9,20 g $\pm$ 5,06 g), seguido por fragmentos de exoesqueletos de crustáceos, material vegetal y restos óseos de peces, que no pudieron identificarse taxonómicamente por su alto grado de descomposición (Figura 3).

Figura 2. Estructura de tallas del róbalo (*Centropomus undecimalis*) en el municipio de Pueblo Viejo, departamento del Magdalena



Fuente: Los autores.

Figura 3. Índice de importancia relativa (IIR) de los ítems alimentarios encontrados en *Centropomus undecimalis*



Fuente: Los autores.

Estos resultados difieren parcialmente de los observados por Blewett *et al.*, (2006), quienes lograron identificar al menos 37 taxones, usando una metodología similar a la implementada en este trabajo, de los cuales solo tres (*Lagodon rhomboides*, *Anchoa* spp. y *Farfantepenaeus duorarum*) conformaron el 50 % de la dieta de este depredador en las costas de Charlotte Harbor, Flori-

da. Por su parte, en el estudio realizado por Adams y Wolfe (2005), se evidenció que gran parte de la dieta de *C. undecimalis* estaba compuesta por peces de *Lucania parva* y *Menidia peninsulae*, con la novedad de la existencia de canibalismo en algunos juveniles reportados en esta investigación, efectuada también en la Florida. Un poco disímil de estos reportes fue el registrado en el noreste

de Brasil, quienes además de hallar peces en el contenido estomacal también encontraron camarones, cangrejos, anfípodos, gasterópodos, poliquetos, insectos y, en poca cantidad, material vegetal, siendo este último consumido de forma incidental según estos autores (Lira *et al.*, 2017). Otros estudios a destacar son los de Aliaume *et al.* (1997) y Nora *et al.* (2012), que, al igual que todos los textos descritos previamente, reportan especies de peces como alimento principal, lo cual coincide con los hallazgos de esta investigación, develando que esta especie al parecer tiene una tendencia piscívora, lo cual probablemente se deba a la calidad nutricional que representa este tipo presas o a su alta disponibilidad, motivo que, según Adams y Wolfe (2005), sustenta el canibalismo que se dio en los individuos que ellos estudiaron, además de las características propias del hábitat, que al momento del estudio estaba fuertemente fragmentado, por lo que más adelante se ahondará en este tema.

La rápida digestión de *C. undecimalis* está asociada con la descomposición evidente o lo irreconocible de algunos ítems del contenido estomacal, siendo esto otro factor que afecta la obtención de resultados dicientes en este tipo de estudios; tanto así que en la investigación de Malinowski *et al.* (2019) se registra que el 85 % de muestras de peces no lograron ser identificadas, al

igual que entre un 20 y 30 % de estos en otras investigaciones (Adams *et al.*, 2009; Blewett *et al.*, 2006). Lo anterior puede justificarse, según Beukers-Stewart y Jones (2004), en especies con tendencias piscívoras, donde la digestión de estas presas es relativamente rápida (Stevens *et al.*, 2010).

Un resultado que llama mucho la atención en este escrito es el gran número de estómagos vacíos (42 %), lo que al parecer no es un caso aislado, que incluso se acentúa un poco más en el estudio de Blewett *et al.* (2006) con aproximadamente un 60 %; asimismo, Nora *et al.* (2012) también reporta esta situación, aunque con un resultado un poco menor (53,8 %); en ese mismo orden, se resaltan los valores de 50 % por McMichael *et al.* (1989), en dos estudios diferentes llevados a cabo en la Florida. Lo anterior es probable que ocurra debido a que estos individuos tienen como dieta principal los peces, los cuales suelen digerirse con mayor rapidez, a diferencia de los crustáceos o insectos quitinosos o con cuerpo altamente esclerotizados; adicional a esto, dichos depredadores suelen preferir a los peces por su mayor aporte nutricional como se ha apreciado, lo que evidentemente contribuye a que se encuentren tantos estómagos vacíos; otro motivo sería la regurgitación producida por el estrés que genera la captura (Blewett *et al.*, 2006). Es por ello que aquí se re-

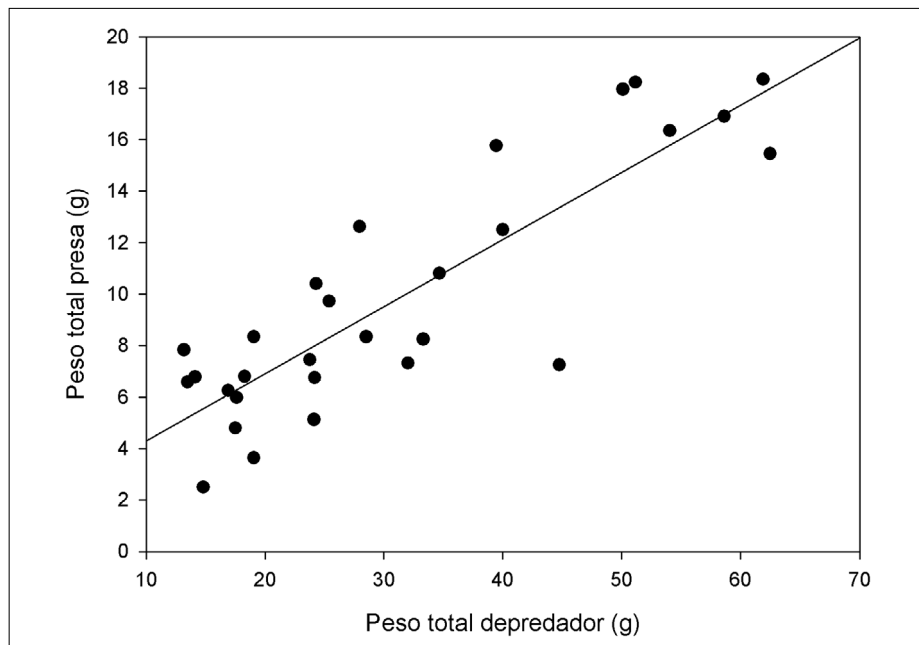
comienda que al momento de hacer un estudio relacionado con la dieta de *C. undecimalis*, se contemple, en el cálculo de la muestra, que al menos un tercio de los estómagos es factible que salgan vacíos; siempre que la intención sea conocer las redes tróficas en la que interfiere esta especie.

Relaciones morfológicas vs. la presa

Para comprobar si existía algún tipo de relación entre el peso del depredador y el de la presa, se hizo una regresión lineal ($r^2 = 0,86$; $P < 0,001$) (Figura 4), que demuestra la existencia de una relación

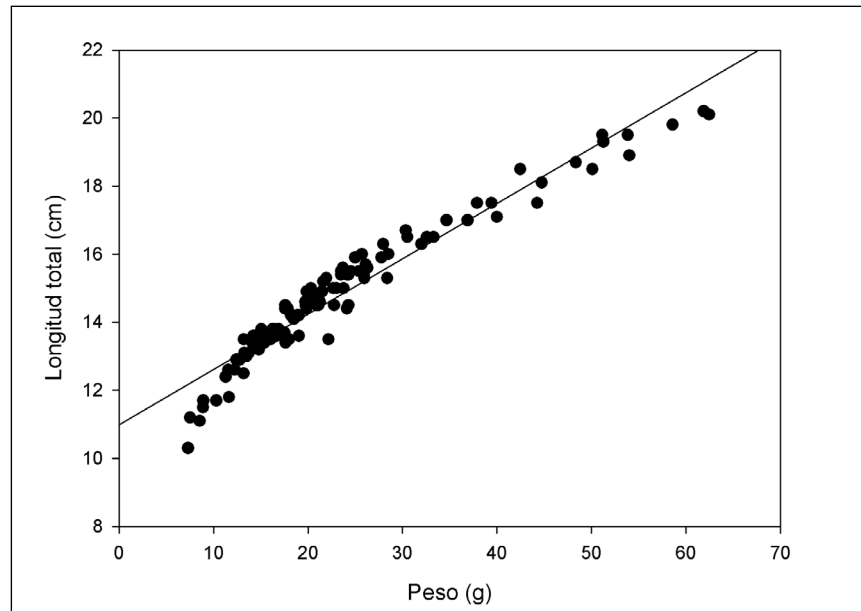
directa positiva entre ambos grupos de individuos. Seguidamente, se aplicó este mismo procedimiento, entre el peso de las presas y la longitud total de los depredadores, dando como resultado un r^2 de 0,74; $P < 0,001$ (Figura 5), que devela que ambas especies, desde el punto de vista trófico, se relacionan directamente de forma positiva, al menos en lo que respecta a las variables peso y longitud. Estos resultados coinciden con los descritos por Blewett *et al.* (2006) y Luczkovich *et al.* (1995); de tal manera que esta especie tiende a consumir presas más grandes a medida que incrementa su tamaño corporal.

Figura 4. Regresión lineal entre el peso de la presa versus el peso del depredador encontrado en los estómagos en gramos. Del análisis se excluyeron los organismos con estómagos vacíos



Fuente: Los autores.

Figura 5. Regresión lineal simple de la longitud total del depredador y el peso de la presa presente en los estómagos en gramos



Fuente: Los autores.

Perspectivas sobre el róbalo en la Ciénaga Grande de Santa Marta

Quizás lo más destacable en esta investigación es la presencia de un solo ítem alimentario reconocible en la dieta de *C. undecimalis*, que, como ya se denotó, puede que se deba a las preferencias de esta especie; aunque, el daño ambiental que padece la CGSM podría ser un factor que afecte el comportamiento trófico de los organismos que en esta habitan, y más aún en aquellas que regulan sus redes tróficas, como los depredadores. Puntualmente, los efectos aparentes de las modificaciones antropogénicas del hábitat de la dieta de organismos juveniles de róbalo suponen un cambio trófico

fundamental, resultante de las fragmentaciones, de la introducción de especies invasoras e incluso de la pesca intensiva sobre esta especie. De igual forma, según Adams *et al.* (2009), los cambios climáticos temporales podrían explicar esta situación, debido a la variabilidad en la abundancia o disponibilidad de las presas, de acuerdo a la época del año, y más si se destaca el hecho de que este estudio se efectuó en la temporada de lluvias y al inicio de la seca, que podría interpretarse como una posición sesgada al no tener datos propios para la temporada seca; pero fuentes teóricas como la de Lira *et al.* (2017) explican que esto es probable que suceda, gracias a la migración de especies marinas que buscan zonas

estuarinas en este periodo del año, que claramente aumenta la disponibilidad de recursos cuando las lluvias son nulas. Adicionalmente, esta especie tiene la capacidad de variar su alimento de acuerdo con la disponibilidad de los recursos presentes en el hábitat donde se encuentre (Lira *et al.*, 2017), lo que es explicado por Hahn *et al.* (2008), quienes dicen que la flexibilidad en la dieta es considerada un aspecto adaptativo, particularmente en peces de regiones tropicales, donde esta puede reflejar la disponibilidad de alimentos en el medio ambiente, ya que en estos lugares algunas especies suelen estar cuando las condiciones no son tan óptimas para su sobrevivencia, dado que la plasticidad trófica es la capacidad de una especie para aprovechar una fuente de alimento más útil en un momento dado (Gerking, 1994).

Debido a las características casi que históricas de alteración antrópica ambiental de la Ciénaga Grande Santa Marta, es menester resaltar el daño ambiental producto de la fragmentación del hábitat, que está siendo ocasionado principalmente por el aumento de la frontera agrícola y por la falta de planeación durante la realización de la vía Ciénaga-Barranquilla (Aguilera-Díaz, 2011). Todo esto, junto a la eutrofización que es producida por la fertilización continua de los agroecosistemas cercanos, ha condicionado el crecimiento de microalgas, lo que es tóxico si se produce de forma excesiva, generando problemas de hipoxia-anoxia en las columnas de agua y,

por ende, la mortandad de organismos aerobios obligatorios, como la ocurrida en 1994, que ocasionó una muerte masiva de peces, registrando, solo para la especie de chivos (Ariidae), valores cercanos a las 20 toneladas. Aunque lo antes descrito está bien sustentado por las observaciones y las mediciones, no se descartan otras causas como la liberación de gases tóxicos provenientes de los sedimentos anóxicos exacerbados por la actividad bacteriana (Mancera y Vidal, 1994).

Esta mortandad masiva de peces, entre los que probablemente están algunos que sirven de alimento a *C. undecimalis* en la CGSM, se ha convertido en un fenómeno recurrente y que se incrementa por el deterioro continuo de esta ecorregión, que a corto plazo no es solucionable (Aguirre *et al.*, 2021; Duque Nivia, 1993; Santos-Martínez y Arboleda, 1993 afectando la calidad del agua, la salud de la población y del ambiente. Con el objetivo de determinar el contenido de metales pesados y calidad del agua de la CGSM, se analizaron muestras de agua, en nueve sitios para las variables temperatura y sólidos disueltos totales (STD). Esta afectación viene desde finales de la década de 1960, como resultado de las intervenciones humanas que han generado inestabilidad en el sistema hidrológico que constituye a la Ciénaga, al igual que la pérdida gradual del bosque de manglar y la disminución poblacional de moluscos, crustáceos y peces, que en conjunto desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento del eco-

sistema y la pesquería artesanal de las comunidades locales (Lorenz y Serafy, 2006; Sanchez-Ramirez y Rueda, 1999).

La invasión por especies invasoras es otro fenómeno que ha atentado hace varios años contra la biodiversidad de las especies presentes en la CGSM, y para los juveniles del róbalo pueden significar una amenaza. Por ejemplo, el pez león, según Vilorio y Acero P. (2016), puede tolerar aguas con baja salinidad, como se demostró con el hallazgo de un ejemplar en septiembre de 2013, localizado en una gran laguna estuarina que pertenece a la Ciénaga; el gran temor con esta especie es que suele alimentarse de juveniles de crustáceos y peces óseos, donde pueden figurar especies que sirven de alimento al róbalo; incluso, este mismo podría ser depredado en sus estadios tempranos. Otros casos de especies invasoras son *Oreochromis niloticus* y *Trichogaster pectoralis* (Narváez Barandica *et al.*, 2005), que probablemente compiten

por alimento con el *C. undecimalis*, lo que contribuiría a explicar los hallazgos de esta investigación.

Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que *C. undecimalis*, en la zona de Pueblo Viejo, posee hábitos alimentarios piscívoros; sin embargo, puede también consumir otros animales que estén disponibles, como los crustáceos. Asimismo, quizás el dato más alarmante que deja esta investigación, es que se ha registrado mayoritariamente solo una especie en el contenido estomacal de *C. undecimalis*, que a simple vista podría hablar de hábitos especialistas de este depredador; no obstante, si se mira el contexto y la realidad que hoy padece la CGSM, es posible señalar que las redes tróficas de esta ecorregión se están viendo afectadas, por lo que se debe ampliar este tipo de estudios a escala anual y a otras especies de peces.

Referencias

- Adams, A. J. y Wolfe, R. K. (2005). Cannibalism of Juveniles by Adult Common Snook (*Centropomus undecimalis*). *Gulf of Mexico Science*, 24(1). <https://doi.org/10.18785/goms.2401.03>
- Adams, A. J., Wolfe, R. K. y Layman, C. A. (2009). Preliminary Examination of How Human-driven Freshwater Flow Alteration Affects Trophic Ecology of Juvenile Snook (*Centropomus undecimalis*) in Estuarine Creeks. *Estuaries and Coasts*, 32(4), 819-828. <https://doi.org/10.1007/s12237-009-9156-x>

- Aguilera-Díaz, M. M. (2011). *Habitantes del agua: El complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Banco de la República. <https://doi.org/10.32468/dtseru.144>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V. y Linero-Cueto, J. (2021). Concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1:e1313). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1313>
- Aliaume, C., Zerbi, A. y Miller, J. M. (1997). Nursery Habitat and Diet of Juvenile Centropomus Species in Puerto Rico Estuaries. *Gulf of Mexico Science*, 15(2). <https://doi.org/10.18785/goms.1502.03>
- Araújo, I. M. S., Silva-Falcão, E. C. y Severi, W. (2011). Buccal apparatus and gastrointestinal tract dimensions associated to the diet of early life stages of Centropomus undecimalis (Centropomidae, Actinopterygii). *Iheringia. Série Zoologia*, 101(1-2), 85-92. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212011000100012>
- Ardila Rodríguez, C. A. (2004). Peces de agua dulce del departamento del Atlántico, Colombia. *Dugandia*, 5(77-87), 3-12. <https://carlosardilarodriguez.files.wordpress.com/2013/07/peces-de-agua-dulce-del-dpto-atlantico.pdf>
- Beukers-Stewart, B. D. y Jones, G. P. (2004). The influence of prey abundance on the feeding ecology of two piscivorous species of coral reef fish. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299(2), 155-184. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.08.015>
- Blewett, D. A., Hensley, R. A. y Stevens, P. W. (2006). Feeding Habits of Common Snook, Centropomus undecimalis, in Charlotte Harbor, Florida. *Gulf and Caribbean Research*, 18(1-14). <https://doi.org/10.18785/gcr.1801.01>
- Cervigon, F. (1996). *Los peces marinos de Venezuela* (Tomo I y II). Caracas: Fundación La Salle de Ciencias Naturales.
- Chasqui Velasco, L., Polanco F., A., Acero Pizarro, A., Mejía-Falla, P. A., Navia, A., Zapata Padilla, L. A. y Caldas Aristizábal, J. P. (2017). *Libro rojo de peces marinos de Colombia*. INVEMAR, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Serie de Publicaciones Generales de INVEMAR # 93. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Libro-Rojo-de-Peces-Marinos-de-Colombia.pdf>
- Cortés, E. (1997). A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(3), 726-738. <https://doi.org/10.1139/f96-316>
- De La Lanza Espino, G. J., Ortiz Pérez, M. A. y Carbajal Pérez, J. L. (2013). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, 81. <https://doi.org/10.14350/rig.33375>

- Duque Nivia, G. (1993). *Ecología trófica y aspectos reproductivos de las especies del género Oligoplites (Pices: Carangidae) de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano*. Universidad del Valle, INVEMAR. <https://cgsm.cemarin.org/tipodoc/tesis/duque-nivia-g-1993-ecologia-trofica-y-aspectos-reproductivos-de-las-especies-del-genero-oligoplites-pices-carangidae-de-la-cienaga-grande-de-santa-marta-caribe-colombiano-tesis-fac-de-cien/>
- Figueroa Eche, L. M. (2018). Ecología trófica de *Orestias* cf. *agassii* (Cyprinodontiformes: Cyprinodontidae) en ambientes altoandinos entre Ayacucho y Huancavelica (Perú). [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7542>
- Gerking, S. D. (1994). *Feeding ecology of fish*. Academic Press. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/f720e49c-2fbd-4dcd-bb38-58612a5e1b9a>
- Gilbert, C. R. (2005). The living marine resources of the Western Central Atlantic. *Copeia*, 2005(1), 201-212. <https://doi.org/10.1643/OT-04-309>
- Graham, J. H. y Vrijenhoek, R. C. (1988). Detrended Correspondence Analysis of Dietary Data. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117(1), 29-36. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1988\)117<0029:DCAODD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1988)117<0029:DCAODD>2.3.CO;2)
- Guevara, E., Álvarez, H., Mascaró, M., Rosas, C. y Sánchez, A. (2007). Hábitos alimenticios y ecología trófica del pez *Lutjanus griseus* (Pisces: Lutjanidae) asociado a la vegetación sumergida en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 55(3-4). <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i3-4.5972>
- Gulland, J. A. (1971). *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. FAO. <https://www.fao.org/3/x5685s/x5685s00.htm>
- Hahn, N., Loureiro, V. y Delariva, R. (2008). Atividade alimentar da curvina *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Perciformes, Sciaenidae) no rio Paraná. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 21. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v21i0.4438>
- Hyslop, E. J. (1980). Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 17(4), 411-429. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x>
- Ibarra, K. P., Villamil, C. A., Vilorio, E. A., Vega, D., Bautista, P. A., Cadavid, B. C., Parra, J. P., Espinosa, L. F., Gómez, M. C., Agudelo, C. M., Perdomo, L. V., Mármol, D. y Rueda, M. (2013). *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. (Informe técnico final). INVEMAR.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2015). *Tomo II: Deforestación y afectación de los ecosistemas por ocupación del territorio y actividades económicas – Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias* (Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales 2014). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). <https://observatorio.epacartagena.gov.co/tomo-2-deforestacion-y-afectacion-de-los-ecosistemas-por-ocupacion-del-territorio-y-actividades-economicas/>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costera [INVEMAR]. (2018). *Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2017*. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3.
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological methodology* (2a ed.). Addison Wesley.
- Lira, A.S., Frédou, F.L., Viana, A.P., Frédou, T. y Medeiros, M.D. (2017). Feeding ecology of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) and *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) in two tropical estuaries in Northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 12(2), 108-116.
- Lorenz, J. J. y Serafy, J. E. (2006). Subtropical wetland fish assemblages and changing salinity regimes: Implications for everglades restoration. *Hydrobiologia*, 569(1), 401-422. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0145-9>
- Luczkovich, J. J., Norton, S. R y Gilmore, R. G. (1995). The influence of oral anatomy on prey selection during the ontogeny of two percoid fishes, *Lagodon rhomboides* and *Centropomus undecimalis*. *Environmental Biology of Fishes*, 44(1-3), 79-95. <https://doi.org/10.1007/BF00005908>
- Luz, R. K., Salaro, A. L., Souto, E. F., Reis, A. y Sakabe, R. (2001). Desenvolvimento de alevinos de traíra alimentados com dietas artificiais em tanques de cultivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(4), 1159-1163. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500004>
- Malinowski, C., Cavin, J., Chanton, J., Chasar, L., Coleman, F. y Koenig, C. (2019). Trophic Relationships and Niche Partitioning of Red Drum *Sciaenops ocellatus* and Common Snook *Centropomus undecimalis* in Coastal Estuaries of South Florida. *Estuaries and Coasts*, 42(3), 842-856. <https://doi.org/10.1007/s12237-018-00512-y>
- Mancera, J. y Vidal, L.A. (1994). Florecimiento de microalgas relacionado con mortandad masiva de peces en el complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 23, 103-117. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1994.23.0.390>
- Mar-Silva, V., Morales, R. y Medina-Nava, M. (2014). Métodos clásicos para el análisis del contenido estomacal en peces. *Biológicas*, 16(2), 13-16.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2004). *Plan de manejo para el sitio RAMSAR y reserva de la biosfera, sistema delta estuarino del río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta*. MAVDT. <https://www.corpamag.gov.co/archivos/PMA/PlanManejoRBRamsar.pdf>
- McMichael, R. H., Peters, K. M. y Parsons, G. R. (1989). Early Life History of the Snook, *Centropomus undecimalis*, in Tampa Bay, Florida. *Northeast Gulf Science*, 10(113-125). <https://doi.org/10.18785/negs.1002.05>
- Narváez Barandica, J., Acero, A. y Blanco, J. (2005). Variación morfométrica en poblaciones naturalizadas y domesticadas de la Tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae) en el Norte de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 29 (112), 383-394.
- Nelson, J. S., Grande, T. C. y Wilson, M. V. H. (2016). *Fishes of the world* (5ta ed.). John Wiley & Sons, Incorporated.
- Nora, V., Begossi, A., Mesquita, F. y Clauzet, M. (2012). Aspectos ecológicos e etnoecológicos sobre a composição alimentar de *Centropomus undecimalis*, Bloch, 1792 (Centropomidae) (róbalo) em Paraty, RJ. *Unisanta Bio Science* 1 (1), 22-27.
- Patiño González, B. I. (2017). *Efecto de la morfología, fenología y abundancia en las redes mutualistas colibrí-planta del Parque Nacional El Cimatario, Querétaro, México* [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Querétaro]. Archivo digital. <https://ri-ng.uaq.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/655/RI003765.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pinkas, L., Oliphant, M. S. y Iverson, I. L. K. (1971). *Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in california waters*. Fish Bulletin 152. State of California, The resources agency, Department of fish and game. <https://escholarship.org/uc/item/7t5868rd>
- Polonia-Rivera, C., Gaitán, S., Chaparro-Muñoz, N. y Villamizar, N. (2017). Captura, transporte y aclimatación de juveniles y adultos de róbalo *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). *Rev. Intropica* 12(1), 61-64. <https://umapp002.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/2035>
- Polonia-Rivera, C., Gaitán, S., Ruíz, J., Villamizar, N. y Chaparro-Muñoz, N. (2016). Evaluación económica del cultivo de róbalo (*Centropomus undecimalis*) en estanque de agua dulce. *Agronomía Colombiana* 34(1), S44-S47.
- Reyes, R., Ramos, D., Fraga, I. y Galindo, J. (2004). Creación de un banco de progenitores de Róbalo *Centropomus undecimalis*, Bloch. Evaluación de alimentos artificiales. *CIVA*, 2004, 814-820.
- Rivas, L. R. (1986). Systematic review of the perciform fishes of the genus *Centropomus*. *Copeia*, 1986(3), 579. <https://doi.org/10.2307/1444940>

- Ruíz-Pérez, N. E., Guevara, G. C.-L. de, López-Herrera, D. L. y Altamirano-Ramírez, I. R. (2016). Relaciones tróficas entre cinco especies de peces pelágicos que cohabitan en las costas de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 26(1), 77-85. <https://www.redalyc.org/pdf/578/57848293010.pdf>
- Sánchez Soto, S. (2020). Captura de una presa inesperadamente grande por el pez *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae). *UNED Research Journal*, 12(2), e2835. <https://doi.org/10.22458/urj.v12i2.2835>
- Sanchez-Ramirez, C. y Rueda, M. (1999). Variación de la diversidad y abundancia de especies ícticas dominantes en el Delta del Río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 47, 1067-1079. <https://doi.org/10.15517/rbt.v47i4.19312>
- Santos-Martínez, A. y Arboleda, S. (1993). Aspectos biológicos y ecológicos del macabí *Elops saurus* Linnaeus (Pisces: Elopidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta y costa adyacente, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 22, 77-96. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1993.22.0.409>
- Segatti Hahn, N. y Luciana Delariva, R. (2003). Métodos para avaliação da alimentação natural de peixes: O que estamos usando? *Interciencia*, 28(2), 100-104.
- Stevens, P. W., Blewett, D. A., Champeau, T. R. y Stafford, C. J. (2010). Posthurricane recovery of riverine fauna reflected in the diet of an apex predator. *Estuaries and Coasts*, 33(1), 59-66. <https://doi.org/10.1007/s12237-009-9246-9>
- Tette Pomárico, A., López-Peña, A., Franke-Ante, R. y Duarte, L. O. (2020). Dieta y amplitud del nicho trófico del cormorán neotropical [*Nannopterum brasilianus* (Gmelin, 1789)] en el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe de Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 49(SuplEsp), 193-208. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.SuplEsp.1072>
- The IUCN Red List of Threatened Species*. (s. f.). IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/es>
- Viloria, E. A. y Acero P., A. (2016). Aparición del pez león, *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaenidae), en la Ciénaga Grande de Santa Marta: Caída del último reducto. *Bulletin of Marine and Coastal Research*, 44(391-394). <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2015.44.2.31>
- Vitule, J. R. S. y Aranha, J. M. R. (2002). Ecología alimentar do lambari, *Deuterodon lankei* Travassos, 1957 (Characidae, Tetragonopterinae), de diferentes tamanhos em um riacho da Floresta Atlântica, Paraná (Brasil). *Acta Biológica Paranaense*, 31(137-150). <https://doi.org/10.5380/abpr.v31i0.613>

Capítulo 4. Áreas óptimas para la piscicultura marina de róbalo en el Caribe colombiano

Jesús Correa-Helbrum

Jairo Altamar

Saeko Gaitán-Ibarra

Resumen

Este capítulo presenta un análisis de la idoneidad del hábitat y el crecimiento del róbalo (*Centropomus undecimalis*) en el Caribe colombiano, con el objetivo de identificar áreas óptimas para su cultivo en jaulas marinas. Se utilizó un enfoque de evaluación multicriterio espacial (EME) que combinó el análisis de superposición booleana, análisis de procesos jerárquicos (AHP) y combinación lineal ponderada (WLC) para evaluar la aptitud de las áreas. Se consideraron factores ambientales, restricciones regulatorias y socioeconómicas, así como la ubicación de zonas portuarias, parques naturales y santuarios marinos. Se destaca la estimación de 6.605,5 km² de áreas aptas para la piscicultura marina de róbalo, clasificadas en tres categorías según la aptitud. Las áreas más adecuadas se encuentran en la zona sur del Caribe colombiano, mientras que áreas en la categoría moderada se ubican hacia el norte. Se destaca que la resolución de las imágenes satelitales y la obtención de variables con precisión en zonas costeras pueden ser limitantes de las técnicas utilizadas. En conclusión, el estudio permitió identificar áreas con potencial para el cultivo de róbalo en el Caribe colombiano, lo que servirá como herramienta para la ordenación de una posible expansión de esta industria. Asimismo, se destaca la importancia de considerar las limitaciones técnicas en futuros análisis de este tipo.

Introducción

El cultivo de peces marinos en jaulas flotantes es una actividad de gran importancia en el Caribe colombiano, especialmente en lo que respecta al potencial cultivo de róbalo. La selección de áreas óptimas para este fin es crucial para garantizar el éxito de la piscicultura y minimizar el impacto ambiental. En este contexto, el presente capítulo presenta un modelo de evaluación multicriterio espacial (EME) que integra normativas legales y restricciones biológicas y ambientales para identificar las áreas más adecuadas para el cultivo de róbalo en jaulas flotantes en el Caribe colombiano.

La importancia de este enfoque radica en la necesidad de considerar múltiples factores para la selección de áreas de cultivo, incluyendo aspectos legales, biológicos, ambientales y de infraestructura. Este enfoque integral permite abordar de manera efectiva la complejidad asociada con la identificación de áreas óptimas para la piscicultura de róbalo, contribuyendo en la sostenibilidad a futuro de esta actividad en la región del mar Caribe colombiano.

Para el desarrollo de este modelo, se han tomado en cuenta diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos, así como la idoneidad del hábitat del róbalo, que condicionan las instalaciones de las jaulas marinas. Estos parámetros incluyen temperatura superficial del mar, salinidad, concentración de clorofila-*a*, oxígeno disuelto, altura de la ola,

velocidad de la corriente, entre otros. La integración de estos criterios a través de un análisis multicriterio y el uso de herramientas como el método de combinación lineal ponderada y el análisis jerárquico de procesos (AHP) permitió la identificación de áreas óptimas para el cultivo de róbalo.

Además, se ha empleado información geoespacial para la generación de mapas temáticos y la delimitación de áreas aptas para el cultivo de peces marinos, con especial énfasis en el róbalo. La difusión de esta información se hace pública a través de una plataforma, una especie de almacenamiento en la nube geoespacial, que contribuye a la transparencia y apropiación del conocimiento para el desarrollo potencial de esta industria en el Caribe colombiano.

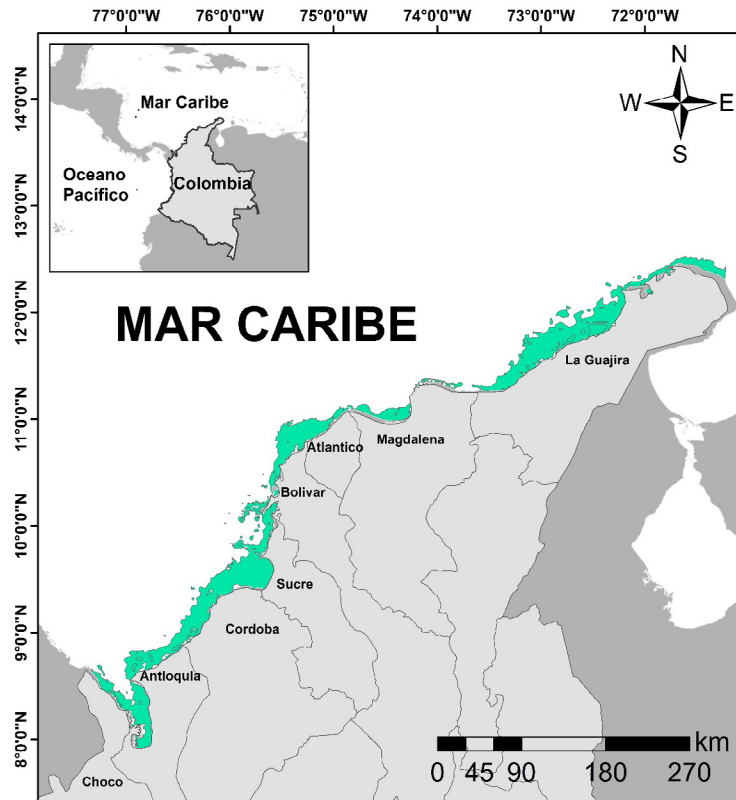
Aspectos metodológicos

El enfoque general utilizado en este trabajo combina los resultados de un análisis que procura la selección de áreas óptimas para el cultivo de róbalo en jaulas flotantes en el mar Caribe colombiano; además, se implementó una primera restricción que se materializó con un primer polígono que va desde 5 hasta 50 m de profundidad (Figura 1), tal como lo recomienda Vázquez (2009). El proceso de selección de áreas fue realizado mediante el desarrollo de un modelo de EME, el cual consideró diferentes factores que intervienen directa e indirectamente

en el área de estudio, tales como condiciones ambientales, tránsito marítimo, zonas portuarias y áreas marinas protegidas. Además, otros factores, in-

cluyendo el social, político, legal y económico, también pueden ser criterios fundamentales para la selección de sitios aptos (Huguenin, 1997).

Figura 1. Mapa del área de estudio con la profundidad restringida desde 5 hasta 50 m



Fuente: Los autores.

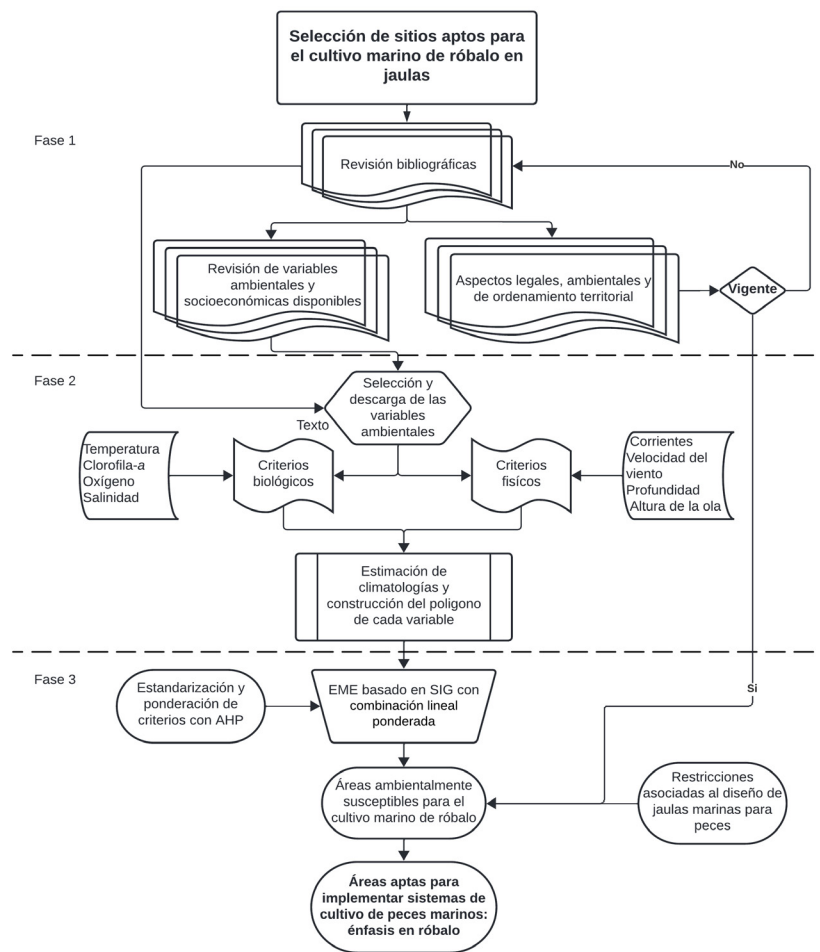
En esta metodología se emplearon dos métodos para el modelo de EME: el análisis de superposición booleana (superposición simple) y la combinación lineal ponderada (WLC) (Eastman, 1999; Malczewski, 2006; Malczewski y Rinner, 2005; O'Sullivan y Unwin, 2003; Silva *et al.*, 2011). El análisis de superposición booleana es utilizado para obtener restriccio-

nes y mapas de criterios: los factores se combinan mediante operadores lógicos como la intersección (AND) y la unión (OR). Luego, los mapas de criterio se estandarizan a un rango numérico común, ponderados y combinados por WLC, que son enmascarados por el mapa de restricciones booleanas en una capa general para producir los primeros resultados.

Para el desarrollo de este trabajo se desarrollaron las siguientes tres fases: 1) análisis de las normativas legales y socioeconómicas; 2) incorporación de restricciones biológicas y ambientales para el cultivo de róbalo en jaulas marinas; y 3) análisis multicriterio para la selección de sitios (Figura 2). Por último, para asegurar la adecuada difusión y apropiación de los resultados, se subió un archivo con

extensión .mpk, en un repositorio remoto de One Drive (Microsoft®), que estará a disposición de los usuarios que deseen consultar las diferentes variables utilizadas durante el proceso de selección de áreas aptas para el cultivo de peces marinos, con énfasis en róbalo. Cabe resaltar que los paquetes de mapas (.mpk) facilitan la tarea de compartir documentos de mapas completos con otros usuarios.

Figura 2. Mapa conceptual que diagrama los procesos llevados a cabo en la obtención de áreas aptas para implementar sistemas de cultivo de peces marinos, con énfasis en róbalo



Fuente: los autores

Fase 1. Análisis de las normativas legales y socioeconómicas

En esta primera fase, se analizaron las restricciones regulatorias y socioeconómicas con el fin de delimitar el área de estudio, teniendo en cuenta zonas portuarias, parques naturales y tránsito marítimo que podrían crear conflicto en las zonas seleccionadas. Para ello, se realizó una revisión de diferentes páginas web gubernamentales (Ministerio de Transporte, Agencia Nacional de Infraestructura, Dimar y Parque Nacionales de Colombia), que permitieron la recolección de los datos espaciales para la generación de los mapas temáticos de cada restricción y realizar un proceso de superposición para excluir las áreas que presentan conflictos con el desarrollo de la actividad piscícola.

En el Caribe colombiano, existen 4 zonas portuarias marítimas principales

y 42 muelles públicos y privados (Tabla 1), los cuales se encuentran activos y están ubicados en La Guajira, Santa Marta, Ciénaga, Cartagena, Tolú y Urabá (Figura 3). La ubicación de estos sitios se obtuvo en formato ráster, los cuales fueron graficados en un mapa base utilizando un proceso de superposición SIG. En el caso de los datos georreferenciados sobre la ubicación de parques nacionales naturales y santuarios marinos, se obtuvieron de los datos abiertos disponibles en el Portal Único del Estado Colombiano (<https://www.datos.gov.co/browse?limitTo=maps>), los cuales fueron descargados en formatos *shapefile*. Además, este trabajo consideró utilizar una distancia de 2 km a la redonda para delimitar y restringir las zonas portuarias, y para el caso de los parques nacionales naturales, se utilizaron los *shapefile* oficiales de cada uno (Figura 4).

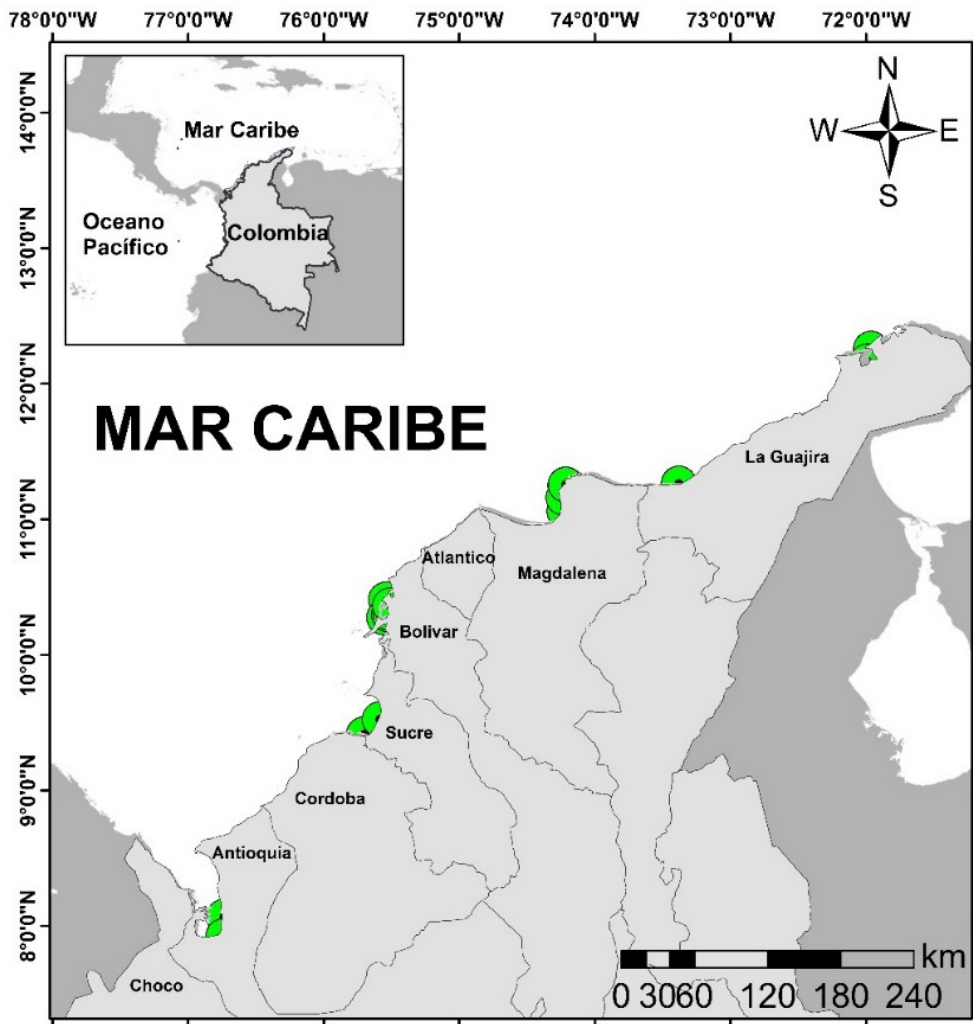
Tabla 1. Zonas portuarias marítimas principales, muelles públicos y privados, relacionados durante el periodo de 2019 al 2021

Departamento	Municipio	Nombre del puerto
La Guajira	Uribea	Puerto Bolívar Cerrejón Zona Norte S. A.
		Sociedad Portuaria de la Península S. A.
		Plataforma de gas Chuchupa A y B
	Dibulla	Sociedad Puerto Brisa S. A.
Magdalena	Santa Marta	American Port Company Inc. - Puerto Drummond
		Sociedad Portuaria Puerto Nuevo S. A.
		Sociedad Portuaria Regional de Santa Marta S. A.

Departamento	Municipio	Nombre del puerto
Magdalena	Santa Marta	Sociedad Ecopetrol S. A. - Terminal Marítimo de Pozos Colorados - CENIT Santa Marta Transporte y Logística de Hidrocarburos S. A. S.
		Concesión Arrecifes Artificiales
	Ciénaga	Sociedad Portuaria Las Américas S. A. - Terminal de Graneles Líquidos del Caribe (TERLICA) S. A.
Bolívar	Cartagena	Sociedad Portuaria DEXTON S. A.
		Sociedad Ecopetrol S. A.
		Sociedad Portuaria Puerto de Mamonal S. A.
		Sociedad Oiltanking Colombia
		Sociedad Portuaria de la Zona Atlántica
		Sociedad Portuaria Regional de Cartagena S. A.
		Compañía Puertos Asociados S. A.
		Sociedad Portuaria Central Cartagena S. A.
		Sociedad Zona Franca ARGOS S. A. S.
		Sociedad Portuaria Algranel S. A.
		Sociedad Portuaria Regional de Cartagena S. A.
		Sociedad Portuaria del Dique S. A.
		Sociedad Portuaria Bavaria S. A.
		Sociedad VOPAK COLOMBIA S. A.
		Refinería de Cartagena (Reficar) S. A.
		Sociedad Portuaria Buenavista
		Sociedad Portuaria Transportes Marítima San Andrés y Providencia S. A.
		Sociedad Portuaria Terminal de Contenedores de Cartagena

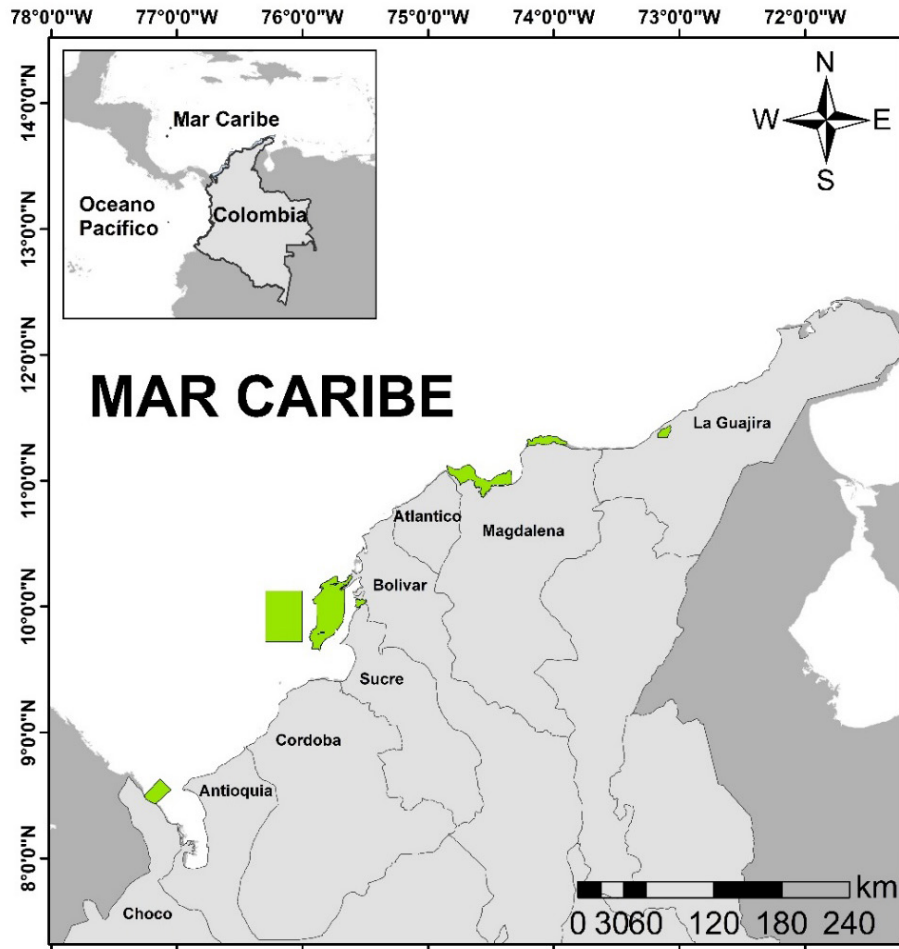
Departamento	Municipio	Nombre del puerto
Bolívar	Cartagena	Sociedad Portuaria Olefinas y Derivados S. A.
		Sociedad Transpetrol Ltda.
		Grupo COREMAR SHOREBASE S. A.
		Sociedad Portuaria Puerto Bahía S. A.
		Sociedad Terminal de IFOS
		Sociedad ATUNAMAR Ltda.
		Sociedad Portuaria Operadora Internacional cesión por la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena
		Sociedad Portuaria El Cayao S. A. E. S. P.
		Sociedad Portuaria Bullpesa S. A.
		Sociedad Portuaria Océanos S. A.
		Sociedad Portuaria del Caribe S. A.
		Sociedad Portuaria BITA RM S. A.
Sucre	Santiago de Tolú	Sociedad Portuaria Palermo S. A. - Muelle Coveñas
		Compañía de Puertos Asociados S. A.
		CENIT Coveñas Transporte y Logística de Hidrocarburos S. A. S.
		Sociedad Portuaria Oleoducto Central (OCENSA) S. A.
		Empresa Colombiana Pesquera de Tolú - PESTOLÚ S. A.
Antioquia	Golfo de Urabá	Sociedad Portuaria Punta de Vaca S. A.
		C. I. Unión de Bananeros de Urabá (UNIBAN) S. A.
		Sociedad Promotora Bananera (Proban) S. A.
		Sociedad Portuaria Puerto Bahía Colombia de Urabá

Figura 3. Zonas portuarias obtenidas de los datos abiertos del Portal Único del Estado Colombiano, incorporando la restricción de 2 km a la redonda



Fuente: Los autores.

Figura 4. Mapa con los polígonos que delimitan los parques naturales de Colombia, obtenidos de los datos abiertos del Portal Único del Estado Colombiano



Fuente: Los autores.

Fase 2. restricciones biológicas y ambientales

Procesamiento de los datos ambientales. Para seleccionar los sitios adecuados para el cultivo de róbalo, en primer lugar, se identificaron aquellos factores que caracterizan a la especie, teniendo en cuenta variables como la temperatura

superficial del mar (°C), clorofila-*a* (mg/m³) y la salinidad (PSU) (Allen y Robertson, 1994; Bhatnagar *et al.*, 2004; Camacho-Peña y Gadea, 2005; Ekubo y Abowei, 2011; Fischer *et al.*, 1995; Vázquez, 2009). En ese sentido se consolidó una base de datos de variables ambientales obtenida a partir de las descargas de los reanálisis del promedio mensual entre los años

2017 al 2022 (Tabla 2), con una resolución espacial de 4 km y una interpolación realizada por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio o por sus siglas en inglés: ERA-5 (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=form>), también disponible en la página de Copernicus ([https://](https://marine.copernicus.eu/)

marine.copernicus.eu/). Para completar estas variables ambientales, se descargaron los datos de velocidad del viento ($m*s^{-1}$), altura significativa de la ola generada por el viento (m) y corrientes ($m*s^{-1}$) de Copernicus (Tabla 2). Con la información anterior, se realizó la climatología mensual y anual de las variables ambientales descargadas.

Tabla 2. Definición de las variables utilizadas para obtener las climatologías, durante el periodo de 2019 al 2021

Variables	Resolución temporal	Resolución espacial	Número de datos	Fuente
Temperatura superficial del mar	Mensual	0,04° x 0,04°	72	ERA-5
Clorofila- <i>a</i>	Mensual	0,04° x 0,04°	72	ERA-5
Salinidad superficial	Mensual	0,25° x 0,25°	72	Copernicus
Viento (componente U y V)	Mensual	0,25° x 0,25°	72	ERA-5
Corriente	Mensual	0,25° x 0,25°	72	Copernicus
Altura de la ola	Mensual	0,25° x 0,25°	72	ERA5

Criterios físico-químicos requeridos para el cultivo de róbalo en jaulas marinas. Se hizo una revisión bibliográfica en diferentes fuentes científicas para identificar los parámetros óptimos de crecimiento e idoneidad del hábitat del róbalo. Con el fin de cono-

cer los rangos óptimos de crecimiento (biológicos), se identificaron diferentes parámetros tales como la temperatura, salinidad, clorofila-*a* y oxígeno, y físicos como profundidad, corrientes, velocidad del viento y altura de la ola (Vázquez, 2009) (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios de selección de sitios para el funcionamiento de jaulas flotantes múltiples en Asia recomendados por FAO y reportados por Vázquez (2009)

Parámetros	Rangos aceptables	Referencias
Físicos y medio ambientales		
Altura de la ola	<1 m	UNDP/FAO (1989)
Velocidad de la corriente	min >0,1 max <1 m*s ⁻¹	UNDP/FAO (1989)
Velocidad del viento	<5,1 m*s ⁻¹	UNDP/FAO (1989)
Profundidad	> 5 m	UNDP/FAO (1989)
Temperatura*	min >25 max <31 °C	Tucker (2003)
Químicos		
Salinidad*	min >34 max <40 ppt	Reyes et al. (2004)
Amonio-Nitrógeno	< 0.5 pp	UNDP/FAO (1989)
Nitrato (NO ₃ – N)	< 200 mg/l	UNDP/FAO (1989)
Nitrito (NO ₂ - N)	< 4 mg/l	UNDP/FAO (1989)
Fosfato	< 70 mg/l	UNDP/FAO (1989)
Demanda biológica de oxígeno*	min >5,36 max <7,25 mg/l	Reyes et al. (2004)

*Los parámetros temperatura, salinidad y demanda biológica de oxígeno corresponden a estudios específicos para róbalo (*Centropomus undecimalis*).

Fase 3. análisis multicriterio para la selección de sitios

Las ponderaciones de los criterios se obtuvieron entrevistando (por medio de

cuestionarios) a varios expertos con experiencia en piscicultura. El proceso de evaluación se llevó a cabo aplicando la escala de Saaty para procesos de comparaciones pareadas (Tabla 4).

Tabla 4. Escala de Saaty utilizada para evaluar comparaciones pareadas de los criterios considerados en la piscicultura marina del róbalo

Valor numérico	Descripción de la importancia
1	Igual
3	Ligeramente
5	Fuertemente
7	Muy fuertemente
9	Extremadamente
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios

Nota: los valores recíprocos de un criterio son asignados para expresar un juicio contrario.

Para definir el peso de los criterios utilizados (velocidad del viento, altura de la ola, velocidad de la corriente, clorofila, temperatura superficial del mar y salinidad), se implementó el AHP, propuesto originalmente por Saaty en 1971, cuyo enfoque actualmente se usa ampliamente en muchos campos (Saaty, 1980; 1997). El método tiene ventajas, ya que proporciona una medida de la consistencia en los juicios de los tomadores de decisiones; organiza los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a un árbol, haciendo que el proceso de decisión más comprensivo, y, finalmente, las comparaciones por pares en el AHP permiten cuantificar pesos/puntajes directamente (Wang *et al.*, 2007).

En total se evaluaron los juicios de cinco expertos, que fueron analizados mediante el *software* Expert Choice, a fin de calcular el índice de consistencia y, posteriormente, obtener los pesos para los criterios. Para este trabajo se consideró que un experto es consistente con un $0 \leq$

$CR \leq 0,1$ (Saaty, 2003). Para los expertos con $0,1 < CR \leq 0,3$, se aplicará un método de corrección de consistencia. Se descartaron los expertos con un $CR > 0,3$.

Después de establecer el mapa de restricciones como máscara, los mapas de criterios se unen con el juicio de expertos, que representa los pesos asignados a cada criterio, a través de una combinación lineal ponderada (WLC), obteniendo como salida final las áreas adecuadas. De hecho, los mapas de criterios identifican todas las áreas adecuadas, y los juicios de expertos permiten clasificar estas áreas en una escala de adecuado a óptimo (escala de idoneidad).

En el caso de WLC, es uno de los métodos de decisión más utilizados en SIG (Dragan *et al.*, 2003; Eastman, 1999; Graymore *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010), porque es fácil de implementar utilizando operaciones de álgebra de mapas y superposición geoespacial. Además, la combinación lineal es un método intuitivo y poderoso para crear escenarios realistas fáciles de

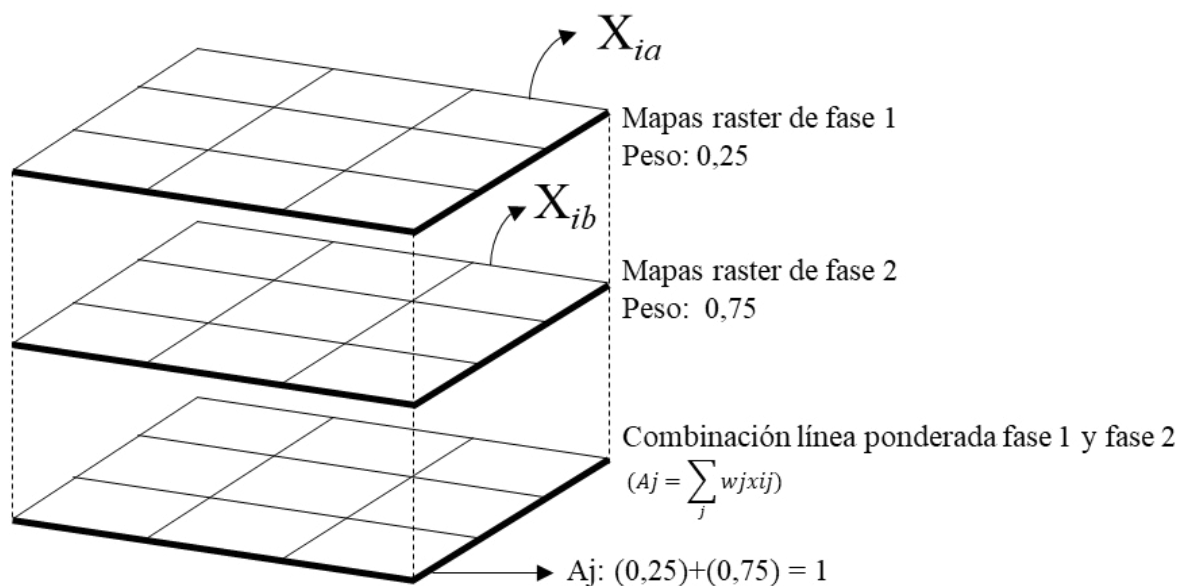
entender para los tomadores de decisiones (Malczewski, 2000). Aunque los métodos WLC se pueden implementar tanto en formato vectorial como ráster, en este trabajo se aplicó en mapas ráster porque es más fácil de implementar y está mejor respaldado por el *software* GIS utilizado. Por lo tanto, los mapas de criterios y restricciones se crearon en formato vectorial y luego se convirtieron en formato raster, utilizando una resolución espacial de $0,01^\circ \times 0,01^\circ$, a partir del método de remuestreo de vecino más cercano (re-sample); el mapa final de áreas óptimas se calculó con la misma resolución. Para la proyección cartográfica se utilizó el sistema de coordenadas geográficas World Geodetic System 84 (WGS84).

Cada mapa ráster de criterios y restricciones (Figura 4) está compuesto por i píxeles. Cada píxel está asociado con el valor x_{ij} , que representa la puntuación estandarizada del i -ésimo píxel con respecto al j -ésimo criterio. Formalmente, la regla de decisión de WLC evalúa cada alternativa a través de:

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij}$$

donde A_i alternativas representa la idoneidad del i -ésimo píxel en el mapa final, w_j es el peso normalizado del j -ésimo criterio para que $\sum w_j = 1$, y x_{ij} es la puntuación estandarizada (Malczewski, 2000).

Figura 4. Método de combinación lineal ponderada de mapas ráster de criterios compuestos por píxeles, cada uno de los cuales está asociado a una puntuación estandarizada, y ponderado según el criterio de los expertos



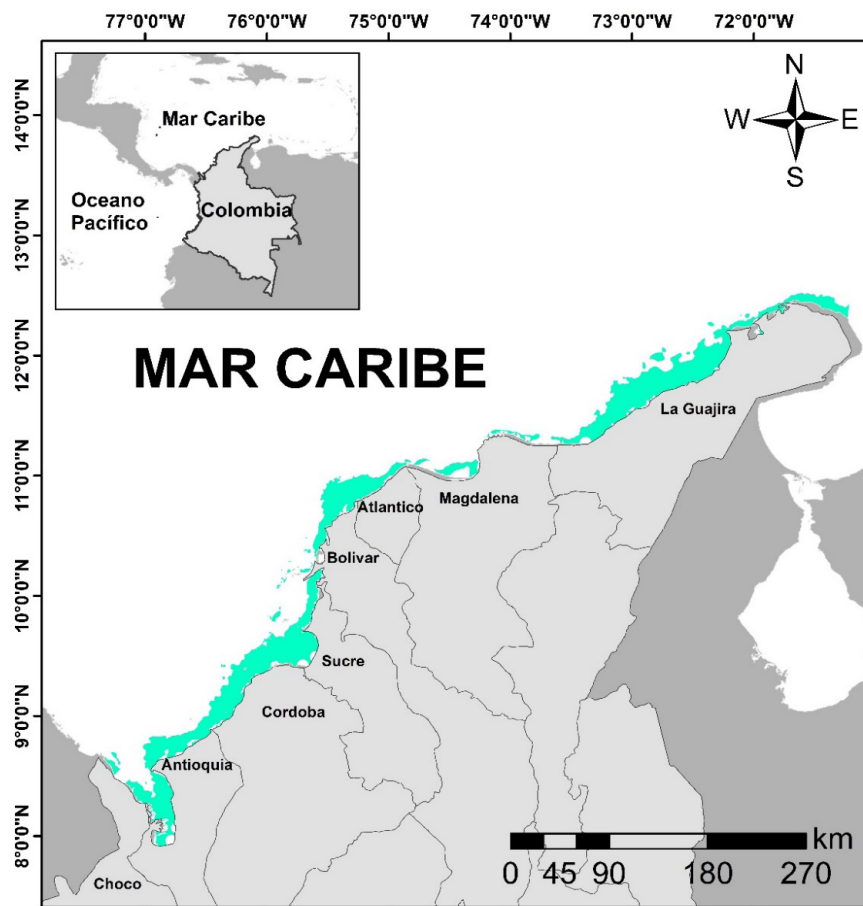
Resultados

Análisis de restricciones regulatorias y sociales

La distribución espacial del polígono obtenido en el análisis de las restricciones fue realizada inicialmente delimitando la profundidad (5-50 m) y, luego, las zonas portuarias y las de parques nacio-

nales del Caribe colombiano, utilizando funciones SIG (Figura 5). De un área aproximada 13.990,6 km² se hizo una delimitación que correspondió a los parques nacionales, que en total restringe un área de 72,7 km², es decir, el 0,5 % del polígono. Para el caso de las zonas portuarias y tránsito marítimo, presentaron un área más extensa que abarcó una restricción de 8,7 % (1.215,9 km²).

Figura 5. Mapa del área de estudio con la profundidad restringida desde 5 hasta 50 m, que excluye las zonas portuarias y las de parques nacionales del Caribe colombiano



Fuente: Los autores.

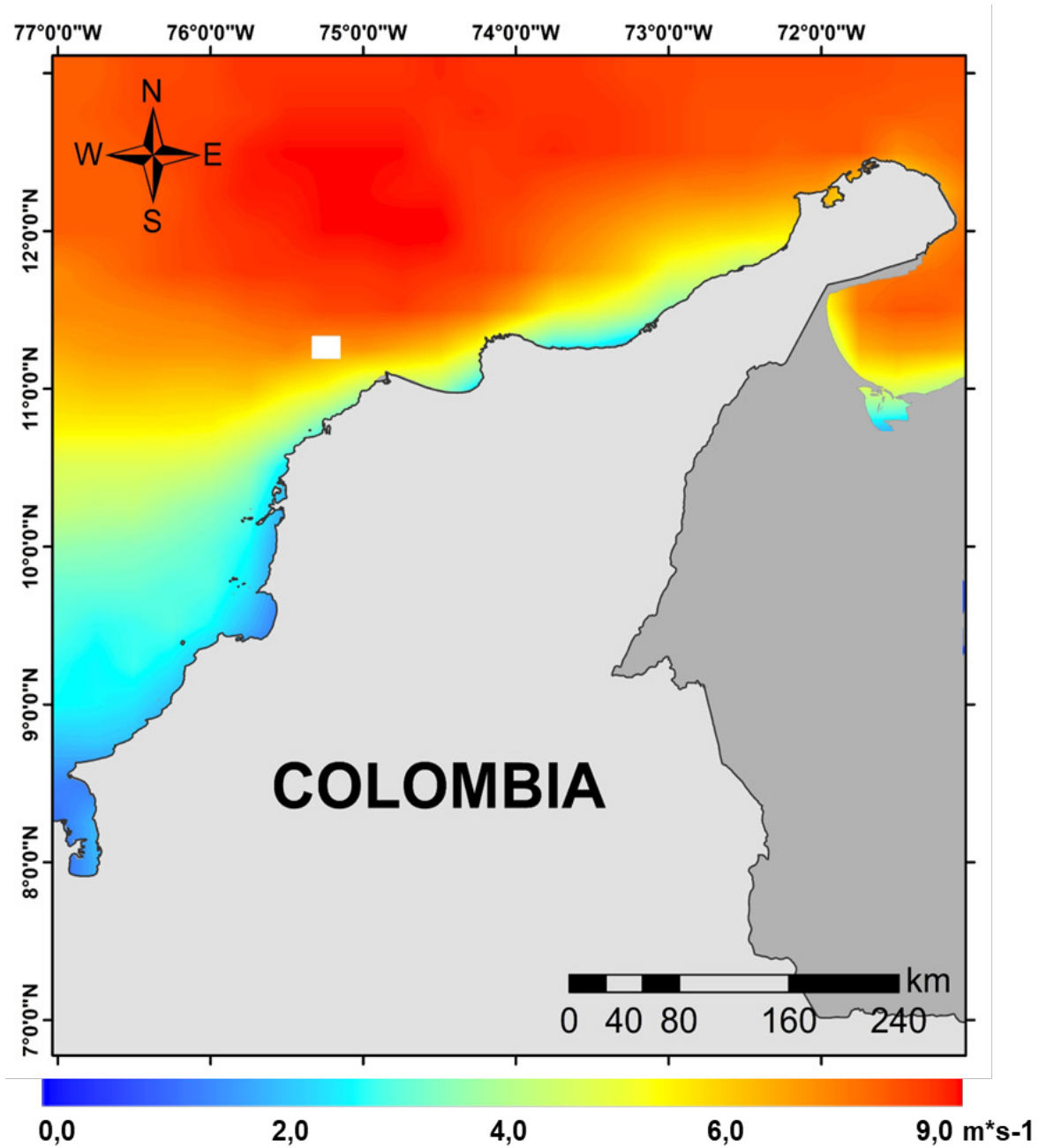
Influencias de las variables ambientales en el área de estudio

Los resultados obtenidos permitieron identificar que, entre el periodo 2017 y 2022, para la climatología de las variables físicas, se obtuvo que la velocidad del viento en el área del mar Caribe colombiano alcanzó una velocidad promedio de $5,0 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$, siendo la zona norte en La Guajira en donde se evidencian los picos más altos, con $7,4 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$, y fue disminuyendo gradualmente hasta llegar a $2,5 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$, valores que corresponden a los departamentos de Antioquia y Chocó (Figura 6). Para la velocidad de la corriente superficial, se observó el mismo patrón que el viento, con una dominancia de una corriente que fluye hacia el noroeste con una velocidad de $0,2 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$; pero hacia el suroccidente, al frente del departamento de Antioquia y Córdoba, es donde se intensifican más las corrientes, con $0,8 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ (Figura 7).

En el caso del procesamiento de las imágenes satelitales de la altura de la ola generada por el viento, se caracterizó el comportamiento representativo del oleaje en el Caribe con valores de altura de ola que fluctúan entre 0,5 m y 3 m; con valores de ola más altos en la zona oceánica respecto de la costera; y en la zona costera se presentaron las alturas

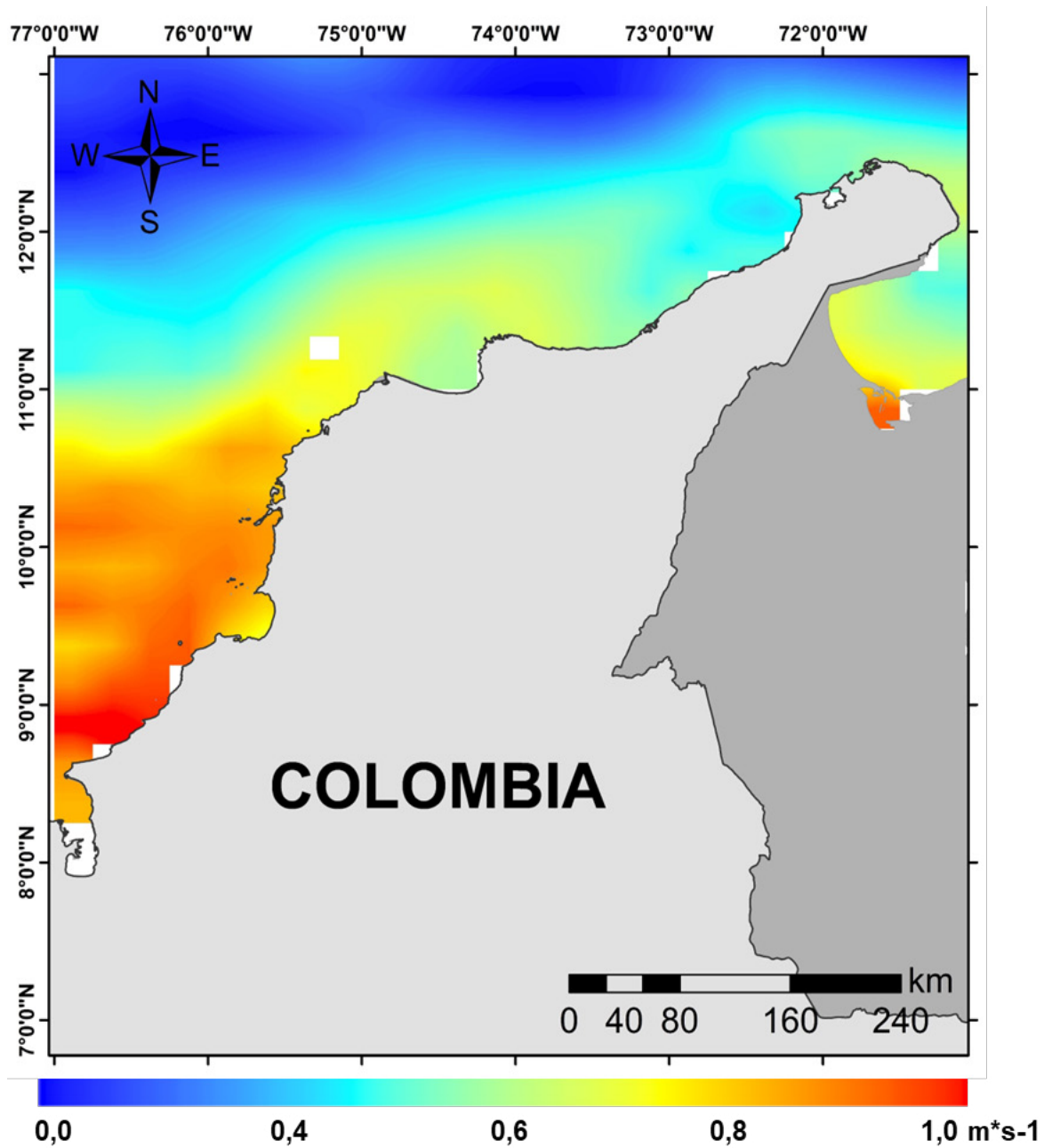
de ola mayores en la latitud 11° N y longitud 75° y 74° W (Figura 8). La temperatura superficial del mar (TSM) mostró valores entre 26 y 31° C (Figura 9). En la zona norte, que abarca La Guajira y Magdalena, se evidenció una masa de agua fría con TSM entre 26 y 27° C ; esto se debe al pulso de los vientos alisios que se generan en esta zona (Figura 7). En contraste, desde la zona sur de la cuenca y sobre el área costera del golfo de Urabá, y los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar, se concentra una masa de agua cálida que oscila entre 28 y $29,5^\circ \text{ C}$ (Figura 9). En el mar Caribe colombiano, la climatología de la salinidad superficial del mar entre el periodo 2017 a 2022 osciló entre 33 y 37 PSU (Figura 10); las mayores concentraciones de salinidad se observaron al norte del mar Caribe, en el departamento de La Guajira, con 35,9 PSU, debido a que por esta zona entra el agua del océano Atlántico (con mayor salinidad) hacia el mar Caribe. Pero en la parte noroccidente del Caribe la salinidad es menor por la dilución del agua de mar, debido a la mayor precipitación y aporte de aguas dulces de los ríos que desembocan en esta zona (Figura 10). Por último, se observaron las mayores concentraciones de clorofila-*a* en el borde costero desde el Cabo de la Vela hasta Santa Marta.

Figura 6. Climatología anual de velocidad del viento en el periodo 2017-2022 para el mar Caribe de Colombia



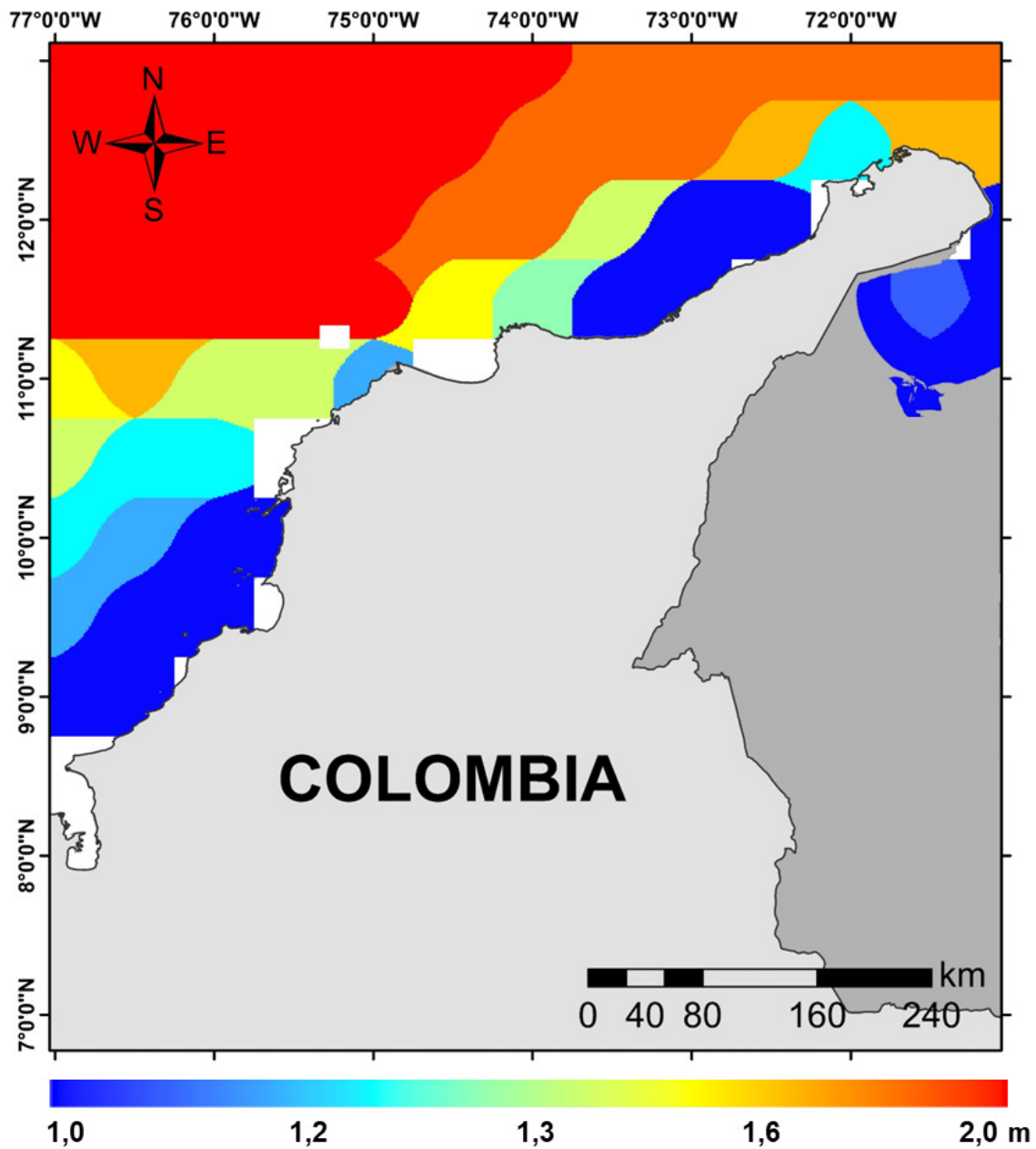
Fuente: Los autores.

Figura 7. Climatología anual de velocidad de la corriente superficial en el periodo 2017-2022 para el mar Caribe de Colombia



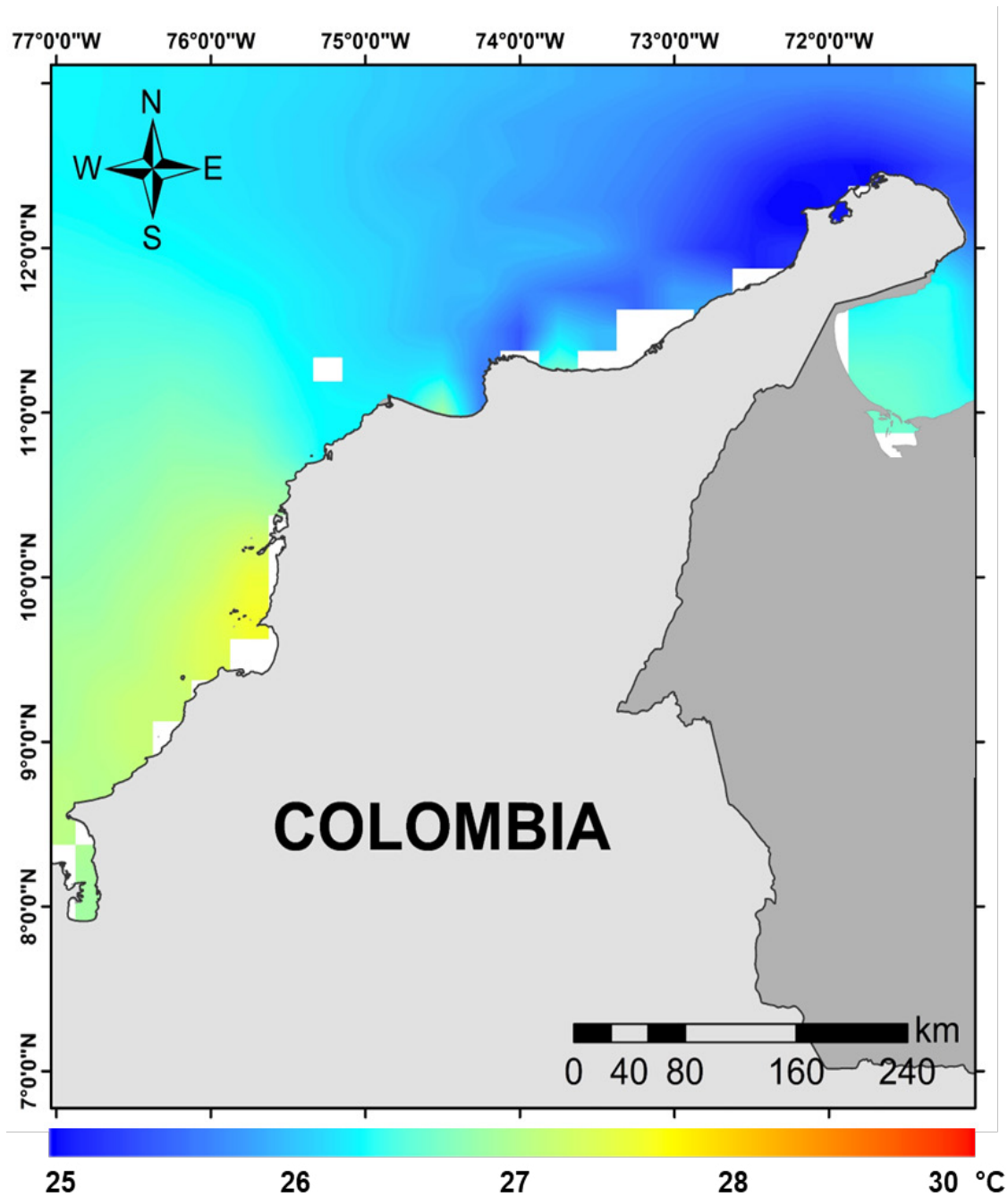
Fuente: Los autores.

Figura 8. Climatología anual de la altura de la ola en el periodo 2017-2022 para el mar Caribe de Colombia



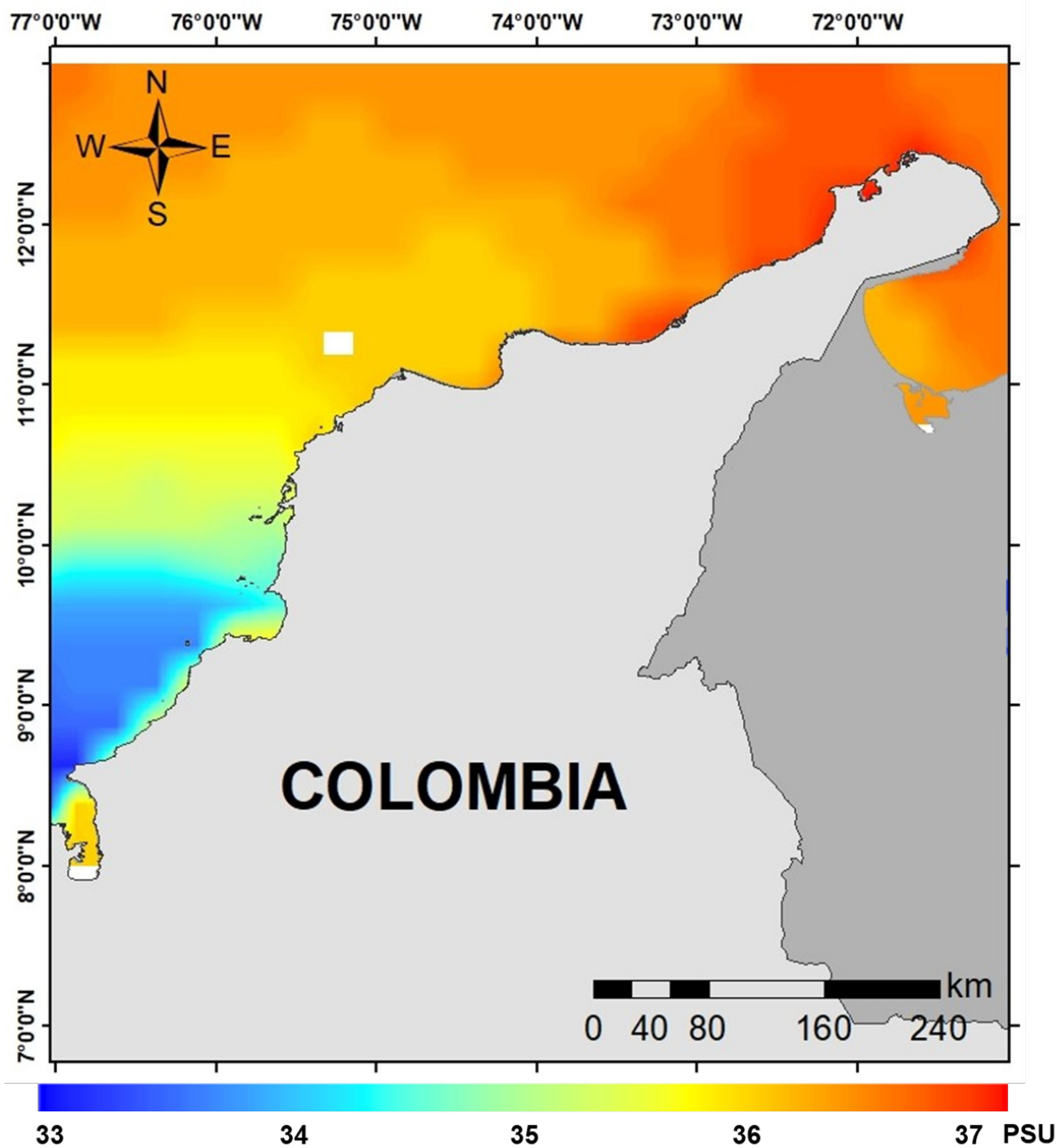
Fuente: Los autores.

Figura 9. Climatología anual de la temperatura superficial del mar en el periodo 2017-2022 para el mar Caribe de Colombia



Fuente: Los autores.

Figura 10. Climatología anual de la salinidad superficial en el periodo 2017-2022 para el mar Caribe de Colombia



Fuente: Los autores.

Análisis multicriterio para la selección de sitios aptos para el cultivo de róbalo

En esta fase, inicialmente se dibujaron los mapas con la distribución de las variables, previo proceso de reclasificación según la

aptitud, que fue definida como buena, satisfactoria y moderada. Los criterios para definir la aptitud de las áreas que tienen potencial para ser utilizadas para piscicultura marina (Tabla 5) fueron establecidos a partir de la información bibliográfica consultada para la construcción de la Tabla 2.

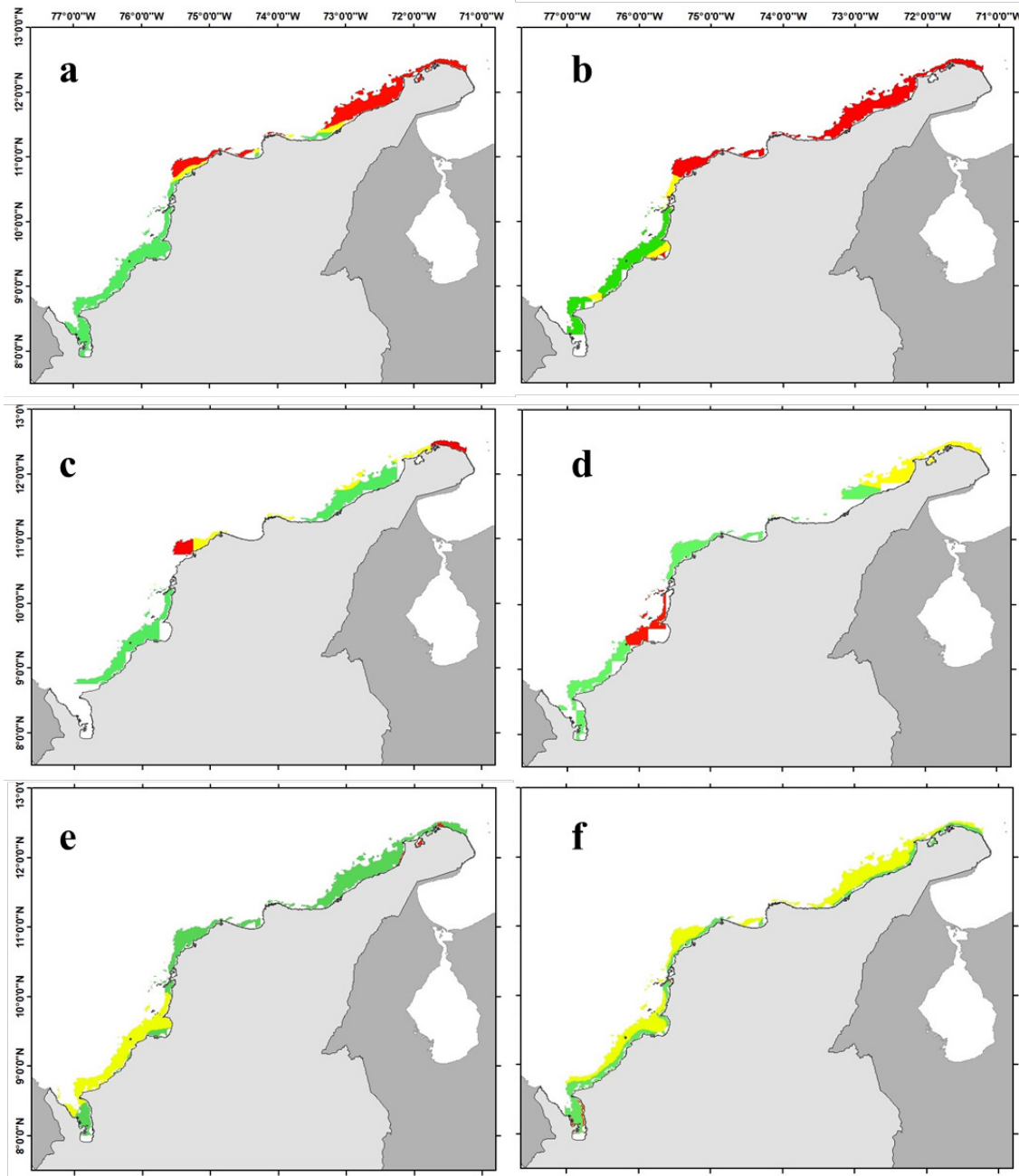
Tabla 5. Rangos óptimos de las variables estudiadas para realizar la clasificación de la aptitud para desarrollar la piscicultura marina en el Caribe colombiano

Variable	Unidad	Aptitud		
		Buena	Satisfactoria	Moderada
Velocidad del viento	m*s ⁻¹	1-2	2-4	4-5
Corriente superficial	m*s ⁻¹	0,1-0,3	0,3-0,6	0,6-1
Altura de la ola	m	0,5-0,7	0,7-1	1-2
Temperatura superficial del mar	°C	24-27	27-29	29-31
Salinidad superficial	UPS	33-34	34-35	36-37
Clorofila-a	mg/m ³	0,1-0,25	0,25-0,75	0,75-1,5

En este análisis se destaca que el área norte del Caribe colombiano (La Guajira) exhibe una aptitud apenas moderada para la instalación de jaulas marinas utilizadas en el cultivo de róbalo en el mar Caribe colombiano, particularmente en lo que atañe a las variables velocidad del viento y corriente superficial (Figura 11 a, b). De

otra parte, la zona sur del Caribe colombiano, es decir, desde Cartagena hasta el Urabá se caracteriza por aptitudes buenas y satisfactorias en la mayoría de las variables estudiadas (Figura 11 a,b,c,d,f), a excepción de la variable salinidad que mayormente resultó con una aptitud satisfactoria para esta zona del Caribe.

Figura 11. Mapas con la distribución de las variables reclasificadas según la aptitud, para la instalación de jaulas marinas utilizadas en el cultivo de róbalo en el mar Caribe colombiano



Notas: los colores (verde: buena, amarillo: satisfactoria, y rojo: moderada) representan el grado de aptitud para cultivo del róbalo. Las letras de los mapas son: a) velocidad del viento, b) corriente superficial, c) altura de la ola, d) temperatura superficial del mar, e) salinidad superficial y f) clorofila-*a*.

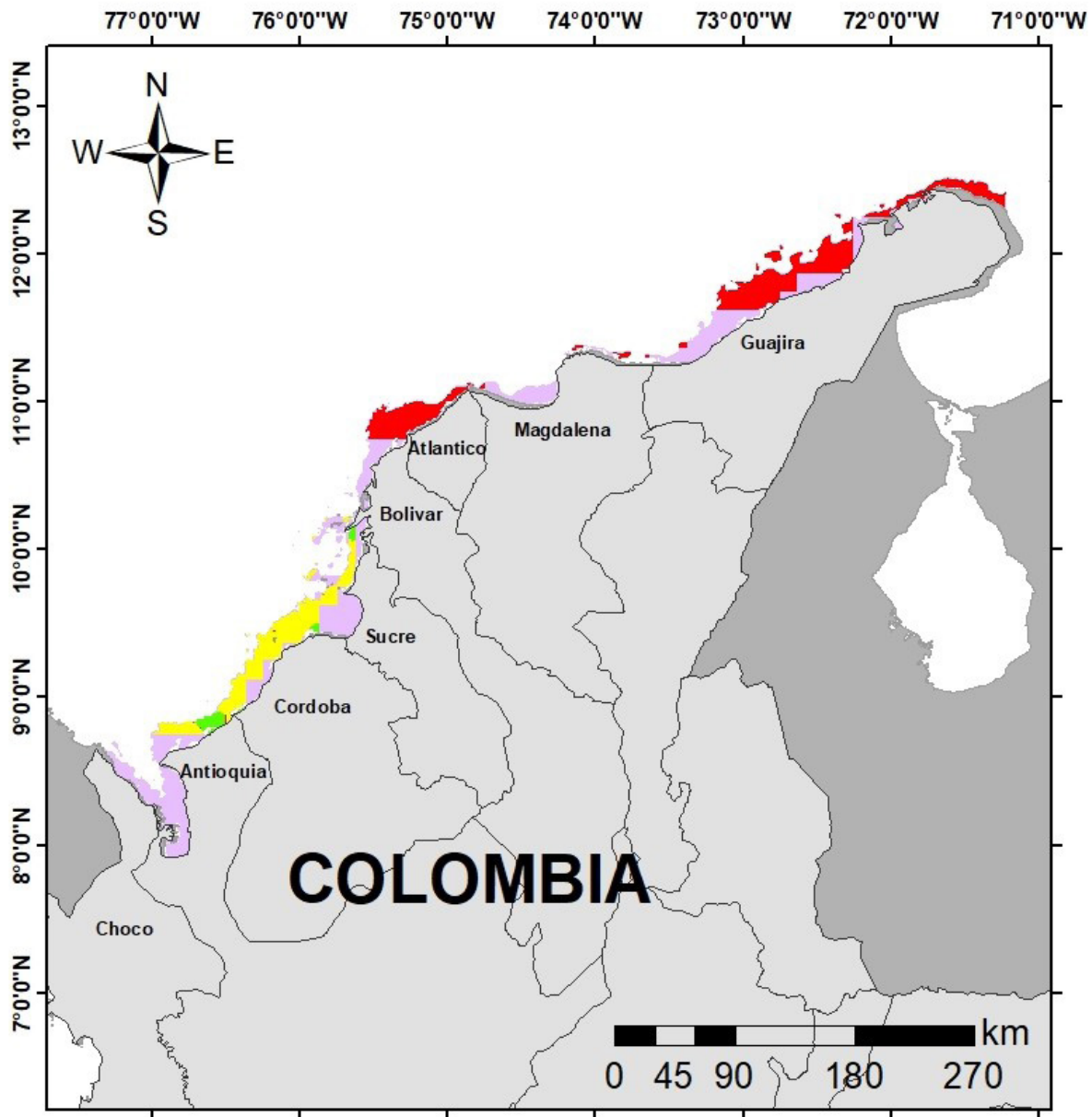
Mediante la técnica de AHP, los expertos definieron una ponderación que cuantificó la influencia de las variables estudiadas en la instalación de jaulas marinas. Los resultados indicaron la siguiente ponderación: a) velocidad del viento 25 %, b) corriente superficial 20 %, c) altura de la ola 20 %, d) temperatura superficial del mar 15 %, e) salinidad superficial 10 % y f) clorofila-*a* 10 %. La inconsistencia de los juicios de los expertos en este análisis indicó una tasa de consistencia (CR) de 0,05 y no hubo juicios descartados por valores de $CR > 0,3$, por lo cual se ratifica la validez del análisis.

En el contexto del análisis llevado a cabo con las ponderaciones obtenidas a partir de la técnica AHP y utilizando el polígono (color lila) con un área de 12.702 km², que incorporó las restricciones de profundidad, áreas de puertos y parque

naturales (Figura 5), se realizó la técnica de WLC (SIG), que permitió estimar un total de 6.605,5 km² de áreas aptas para la piscicultura marina de róbalo (Figura 12), de las cuales el 4,8 % correspondió a áreas buenas (verde), 34,7 % a áreas con aptitud satisfactoria (amarillo) y 60,5 % con aptitud moderada (rojo).

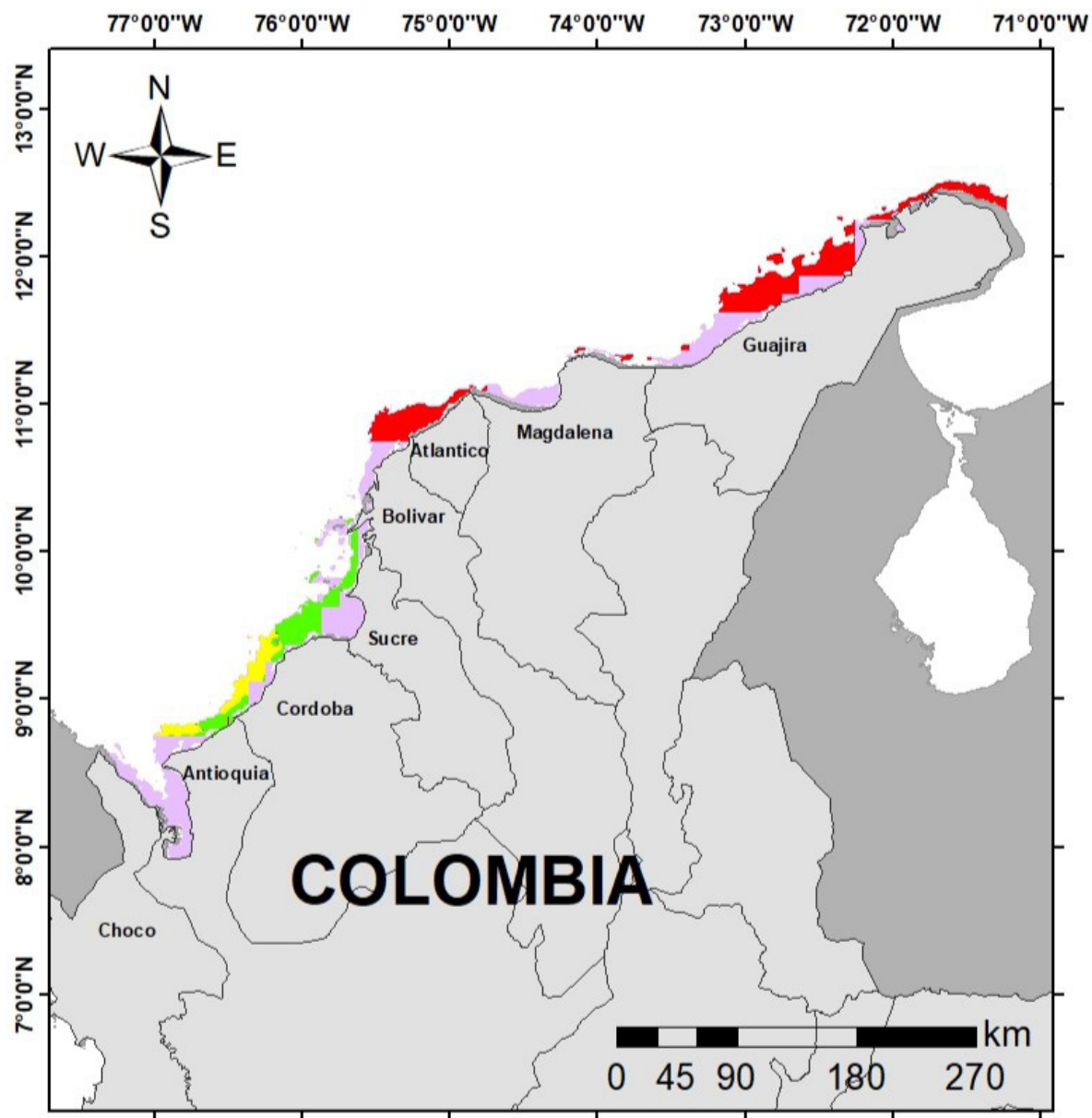
En otro escenario menos precautorio no se consideró el uso de la técnica AHP para estimar la influencia de las variables, sino que se utilizaron iguales porcentajes para mediar la influencia en las seis variables evaluadas (16,6%). En ese sentido, los resultados obtenidos estimaron en 6.605,5 km² de áreas aptas para la piscicultura marina de róbalo (Figura 13), de las cuales el 25,8 % correspondió a áreas buenas (verde), 13,7 % a áreas con aptitud satisfactoria (amarillo) y 60,5 % con aptitud moderada (rojo).

Figura 12. Mapa con la distribución de las áreas aptas para la instalación de jaulas marinas utilizadas en el cultivo de róbalo en el mar Caribe colombiano, utilizando la técnica AHP



Nota: la técnica AHP se utilizó para evaluar la influencia (ponderación) de las variables y la clasificación según la aptitud fue buena (verde), satisfactoria (amarillo) y moderada (rojo).

Figura 13. Mapa con la distribución de las áreas aptas para la instalación de jaulas marinas utilizadas en el cultivo de róbalo en el mar Caribe colombiano



Nota: la evaluación de la influencia (ponderación) consideró el mismo porcentaje para todas las variables y la clasificación según la aptitud fue verde: buena (verde), satisfactoria (amarillo) y moderada (rojo).

Para la publicación y apropiación de los resultados obtenidos, está disponible una MPK de uso abierto a la que se puede acceder desde el enlace https://universidadmag-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/gieep_unimagdalena.edu_co/EpsjYuctIE9Oin93xzbE3cgB-TuU5qYjIkerXJBivZ_kZ5w?e=dVGuno. Las capas o *layers* están conformadas por una capa base del país (Colombia) y otra con el continente (América del Sur). Luego, dos archivos *raster* que presentan los resultados obtenidos del análisis WLC que incorporan las ponderaciones realizadas con la técnica AHP (ponderación con AHP) y sin AHP (igual nivel de influencia). Seguidamente, se presentan dos grupos que contienen la siguiente información: el primer grupo se subdivide en dos y presenta las restricciones regulatorias y sociales (área de 5 a 50 m, zonas portuarias, parques nacionales y el polígono que tiene las restricciones antes mencionadas); además, los mapas de aptitud con las seis variables ambientales reclasificadas (Aptitud_velocidad del viento, Aptitud_corriente, Aptitud_altura de la ola, Aptitud_temperatura superficial del mar, Aptitud_salinidad superficial del mar y Aptitud_clorofila). El segundo grupo muestra las climatologías mensuales y general de las seis variables ambientales evaluadas.

En síntesis, este trabajo permitió establecer una primera aproximación de las áreas óptimas en el Caribe colombiano para la instalación de jaulas marinas utilizadas en el cultivo de róbalo. En total se estimaron 6.605,5 km², que fueron clasificados en tres categorías según la aptitud (buena, satisfactoria y moderada). Los resultados también consideran dos escenarios: uno que utiliza la técnica AHP para ponderar la influencia de las variables y otro que las considera iguales. En general, se destaca que las áreas buenas y satisfactorias se distribuyen ampliamente hacia el sur del Caribe colombiano, mientras que hacia el norte las variables velocidad del viento y corrientes limitan el área (frente a: Atlántico, Magdalena y La Guajira) a pocas áreas moderadas.

Una limitante de las técnicas utilizadas es la resolución de las imágenes satelitales y la dificultad de obtener las variables con suficiente precisión en las zonas muy costeras. Por tanto, no se descarta que sectores de algunas bahías, ensenadas y pequeños ancones puedan ser considerados para el establecimiento de potenciales cultivos de peces marinos. De otra parte, siempre la información registrada *in situ* será deseable para establecer una línea base o servirá para validar algunas zonas particulares de este estudio.

Referencias

- Allen, G. R. y Robertson, D. (1994). *Fishes of the tropical eastern Pacific*. University of Hawaii Press.
- Alvarez-Lajonchère, L. y Taylor, R. G. (2003). Economies of scale for juvenile production of common snook (*Centropomus undecimalis* Bloch). *Aquaculture Economics & Management*, 7(5-6), 273-292. <https://doi.org/10.1080/13657300309380345>.
- Bhatnagar, A., Jana, S. N., Garg, S. K., Patra, B. C., Singh, G. y Barman, U. K. (2004). Water quality management in aquaculture. En *Course Manual of summerschool on development of sustainable aquaculture technology in fresh and saline waters* (pp. 203-210).
- Camacho-Peña, J. y Gadea, V. (2005). *Estudio técnico científico del róbalo en Río San Juan y el Gran Lago de Nicaragua*. Proyecto Araucaria-Río San Juan-MARENA.
- Dragan, M., Feoli, E., Ferneti, M. y Zerihun, W. (2003). Application of a spatial decision support system (SDSS) to reduce soil erosion in northern Ethiopia. *Environmental Modelling & Software*, 18(10), 861-868. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00104-X](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00104-X)
- Eastman, R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. En P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire y D. W. Rhind (Eds.), *Geographical Information Systems* (pp. 493-502). Wiley. https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/00_fm.pdf
- Ekubo, A. y Abowei, J. (2011). Review of some water quality management principles in culture fisheries. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(12), 1342-1357. <https://www.airtilibrary.com/Article/Detail/20407467-201112-201412120017-201412120017-1342-1357>
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E. y Niem, V. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental* (Vol. II. Vertebrados - Parte 1 y Vol. III Vertebrados - Parte 2). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes.
- Graymore, M. L. M., Wallis, A. M. y Richards, A. (2009). An Index of regional Sustainability: a GIS-based multiple criteria analysis decision support system for progressing sustainability. *Ecological complexity*, 6(4), 453-462. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.08.006>
- Huguenin, J. (1997). The design, operations and economics of cage culture systems. *Aquacultural Engineering*, 16(3), 167-203. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(96\)01018-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(96)01018-7)
- Malczewski, J. (2006). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.01.003>

- Malczewski, J. y Rinner, C. (2005). Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: a case study of residential quality evaluation. *Journal of Geographical Systems*, 7(2005), 249-268. <https://doi.org/10.1007/s10109-005-0159-2>
- O'Sullivan, D. y Unwin, D. (Ed.). (2003). *Geographic Information Analysis* (2^{da} ed.). John Wiley & Sons.
- Saaty TL. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Saaty TL. (1997). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, (15), 234-281. https://superdecisions.com/sd_resources/Paper_ScalingMethod.pdf
- Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 85-91. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8)
- Silva, C., Ferreira, J. G., Bricker, S. B., Del Valls, T. A., Martín-Díaz, M. L. y Yáñez, E. (2011). Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with emphasis on data-poor environments. *Aquaculture*, 318(3-4), 444-457. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.033>
- Vázquez A. (2009). *Diseño de un sistema de jaulas para cultivos dulceacuícolas y marinos* (Informe técnico del proyecto). CONAPESCA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. <https://docplayer.es/86286796-Dise-no-de-un-sistema-de-jaulas-para-cultivos-dulceacuicolas-y-marinos.html>
- Wang, J., Chen, J., Ju, W. y Li, M. (2010). IA-SDSS: a GIS-based land use decision support system with consideration of carbon sequestration. *Environmental Modelling & Software*, 25(4), 539-553. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.09.010>
- Wang, L., Chu, J. y Wu, J. (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 151-163. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.005>