



# Universidad de Guanajuato

---

## Campus Irapuato-Salamanca

División de Ciencias de la Vida  
Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia

### **Efecto del ambiente lumínico en la maduración sexual y los indicadores corporales de bienestar en hembras de *Centropomus undecimalis***

Tesis

Que para obtener el grado de  
Médico Veterinario Zootecnista

Presenta

Ma. Guadalupe Sandoval Lara

Directoras

Dra. Alicia del Rosario Martínez Yáñez

Dra. Cristina Pascual Jiménez

Irapuato, Guanajuato, México, Abril 2024

UNIVERSIDAD DE  
GUANAJUATO



«2024, Año de Felipe Carrillo Puerto, Benemérito del Proletariado, Revolucionario y Defensor del Mayab.»  
«2024, 200 años de Grandeza: Guanajuato como Entidad Federativa, Libre y Soberana.»  
«2024, a 200 años de la instalación del Primer Congreso Constituyente de Guanajuato.»

DIVISION DE CIENCIAS DE LA VIDA.

DIRECCION.

Oficio: DICIVA/0148/2024.

Asunto: Autorización de Titulación.

C.

**MA. GUADALUPE SANDOVAL LARA,**  
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA,  
P R E S E N T E.

Por medio de la presente y una vez revisado que ha cumplido íntegramente el plan de estudios del Programa Académico y, con base en el Artículo 3 del *Reglamento de las Modalidades para la Obtención del Grado de Licenciatura y Procedimiento para la Obtención del mismo* y Artículo 72 del Reglamento Académico de la Normatividad de la Universidad de Guanajuato, me permito indicarle que doy mi autorización para que inicie el proceso de titulación por *Trabajo de Tesis*.

Sin otro asunto y enviándole un cordial saludo, se despide.

A T E N T A M E N T E  
“LA VERDAD OS HARA LIBRES”  
Irapuato, Gto., 19 de Marzo de 2024.  
EL DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA  
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA

  
**DR. ROGELIO COSTILLA SALAZAR.**



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA  
División de Ciencias de la Vida  
Ex-Hacienda el Copal Irapuato, Gto.  
- DIRECCIÓN -

C.c.p. Archivo.  
RCS/mcla.

**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA**

Ex Hacienda El Copal, Km 9 Carretera Irapuato-Silao.  
C.P.36824 A.P. 311, Irapuato, Gto., México.  
Tel. y Fax: 462 624 18 89.

[www.irapuatosalamanca.ugto.mx](http://www.irapuatosalamanca.ugto.mx)



«2024, Año de Felipe Carrillo Puerto, Benemérito del Proletariado, Revolucionario y Defensor del Mayab.»

«2024, 200 años de Grandeza: Guanajuato como Entidad Federativa, Libre y Soberana.»

«2024, a 200 años de la instalación del Primer Congreso Constituyente de Guanajuato.»

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA.

C.

DR. ROGELIO COSTILLA SALAZAR,  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA  
CAMPUS IRAPUATO – SALAMANCA,  
P R E S E N T E.

En relación al trabajo de titulación de la C. **MA. GUADALUPE SANDOVAL LARA**, nos permitimos comunicar a Usted que el trabajo de Tesis: **"EFECTO DEL AMBIENTE LUMÍNICO EN LA MADURACIÓN SEXUAL Y LOS INDICADORES CORPORALES DE BIENESTAR EN HEMBRAS DE CENTROPUMUS UNDECIMALIS"**, que fue desarrollado bajo la Dirección de la Dra. Alicia del Rosario Martínez Yáñez, Profesora de la División de Ciencias de la Vida y la Co-Dirección de la Dra. Cristina Pascual Jiménez, Profesora de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, UNAM, Sisal, ha sido terminado. El escrito fue revisado por el MVZ. Pedro José Albertos Alpuche Profesor de la División de Ciencias de la Vida y el Dr. Ángel Humberto Rojo Cebreros, Profesor de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, UNAM, Sisal, se ha autorizado la impresión y empastado del mismo.

Así mismo nos permitimos proponer la integración del Jurado a los señores:

MVZ. PEDRO JOSÉ ALBERTOS ALPUCHE	PRESIDENTE
DR. ÁNGEL HUMBERTO ROJO CEBREROS	SECRETARIO
DRA. ALICIA DEL ROSARIO MARTÍNEZ YÁÑEZ	VOCAL

A T E N T A M E N T E  
Irapuato, Gto., Marzo de 2024.

DRA. ALICIA DEL ROSARIO MARTÍNEZ YÁÑEZ  
**DIRECTOR**

REVISOR

REVISOR

MVZ. PEDRO JOSÉ ALBERTOS ALPUCHE DR. ÁNGEL HUMBERTO ROJO CEBREROS  
**CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA**

Ex Hacienda El Copal, Km 9 Carretera Irapuato-Silao:  
C.P.36824 A.P. 311, Irapuato, Gto., México.  
Tel. y Fax: 462 624 18 89.

## RESUMEN

El robalo blanco (*Centropomus undecimalis*), es un pez que se encuentra ampliamente distribuido en las costas del océano Atlántico, Pacífico, mar del Caribe, incluyendo al territorio mexicano en especialmente el Golfo de México. Esta especie es de gran interés por su singularidad como alimento por lo cual se incluye en especies de alto valor comercial, esto ha hecho que su explotación descontrolada lleve a la disminución de las poblaciones, generando la necesidad de desarrollar estrategias para su reproducción en cautiverio y así repoblar las áreas naturales. El presente estudio se centra en analizar como el ambiente lumínico puede o no afectar en la maduración y los indicadores de bienestar corporal de las hembras de robalo blanco *C. undecimalis*. Se realizaron comparaciones entre dos condiciones de luz: luz natural (sin cobertura) y luz combinada (luz natural en una ventana del 25 % más la luz LED), el estudio se llevó a cabo en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) de la Universidad Autónoma de México en el Puerto de Sisal, Yucatán, México. Se aplicaron diversas pruebas estadísticas como sesgo, curtosis, Análisis de Componentes Principales (ACP), MANOVA, correlación de Pearson y la prueba t de Student para analizar los datos. Los resultados revelan que la exposición a la luz natural favoreció a la maduración la cual se ve reflejada en el tamaño de los ovocitos al encontrarse un 38% en vitelogénesis terciaria a comparación de un 17% de las hembras con luz combinada. En los indicadores corporales de bienestar los resultados muestran un mayor porcentaje de daño en el grupo de hembras expuesto al ambiente lumínico natural, lo que destaca en la importancia de considerar cuidadosamente las condiciones lumínicas para cada especie de teleósteos y así garantizar el bienestar de los organismos. Se necesita más investigación para comprender en su totalidad el efecto del ambiente lumínico en la reproducción de esta especie y evaluarla en los machos reproductores. La asociación de integridad corporal y ambiente lumínico evidencia la importancia de evaluar la integridad corporal de manera individual en los organismos.

**Palabras clave:** *Centropomus undecimalis*, maduración, ambiente lumínico, indicadores corporales de bienestar.

## *Dedicatoria*

*A esas personas que creen que nunca es demasiado tarde  
para perseguir sus sueños.*

*A todos aquellos que desafían los límites  
y se atreven a romper las barreras,  
demostrando que la edad no es un impedimento  
para el aprendizaje y el logro de metas.*

*Que este trabajo sea un testimonio  
de que el conocimiento y la pasión por aprender  
no tienen límites de tiempo.*



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Universo por brindarme la oportunidad de culminar con este estudio y alcanzar este importante logro en mi vida académica.

Agradezco profundamente a mis hijos por su comprensión, paciencia y amor incondicional durante este camino. Su apoyo y motivación han sido fundamentales para alcanzar este importante logro en mi vida

Agradezco a la Dra. Alicia del Rosario Martínez Yáñez, por la oportunidad que me brido, su apoyo, paciencia y guía a lo largo de este trabajo.

Agradezco a mis padres y familia por su apoyo, amor, confianza y aliento lo que ha sido el motor que me impulsa a alcanzar este logro.

Agradezco al Ing. Oscar Salinas, que me brindo las herramientas para llevar a cabo este proyecto y su apoyo incondicional.

Agradezco a la Dra. Cristina Pascual Jiménez, por las enseñanzas y darme la oportunidad de participar en este proyecto.

Agradezco a mis sinodales MVZ. Pedro J. Albertos Alpuche y Dr. Ángel Humberto Rojo Cebreros, por el tiempo, apoyo y las aportaciones dadas al trabajo.

Agradezco mis amigos, porque siempre estuvieron apoyándome y motivándome para dar mi mejor versión en este trabajo.

Agradezco por la beca recibida para la elaboración de la tesis (B232042), otorgada por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT-UNAM IN217322)



El presente trabajo fue realizado en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la UNAM, en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación en Sisal, Yucatán, con financiamiento del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, PAPIIT-UNAM IN217322, bajo la dirección de la Dra. Cristina Pascual Jiménez, y del proyecto IT201621.

Esta tesis fue realizada con el apoyo del M. en C. Jaime Suárez Bautista y de la M. en C. Erika Escalante Garnelo en la capacitación del manejo de los organismos, preparación de alimentos y su asistencia en el desarrollo experimental; de la M. en C. Ariadna Sánchez Arteaga por asistencia en las técnicas bioquímicas; de la M. en C. Gabriela Palomino Albarrán y de la Ing. Patricia Balam en lo concerniente a alimento vivo; de la Ing. Adriana del Carmen Paredes Medina y de la M. en C. Karla Escalante Herrera por su asistencia y facilidades otorgadas en el área de cría larval y en el laboratorio de Bioquímica, Inmunología y Biología Molecular.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b><i>i</i></b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b><i>ii</i></b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b><i>iii</i></b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b><i>v</i></b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b><i>vii</i></b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b><i>viii</i></b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Importancia de la especie.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Alimentación.....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Taxonomía.....</b>	<b>4</b>
<b>2.4. Distribución y ecología.....</b>	<b>4</b>
<b>2.5. Anatomía.....</b>	<b>5</b>
<b>2.6. Sistema endócrino.....</b>	<b>5</b>
<b>2.6.1. GnRh y dopamina.....</b>	<b>6</b>
<b>2.6.2. Regulación hormonal.....</b>	<b>6</b>
<b>2.7. Reproducción de <i>C. undecimalis</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>2.7.1. Transición.....</b>	<b>8</b>
<b>2.7.2. Desarrollo gonadal.....</b>	<b>8</b>
<b>2.7.3. Ovarios y ovicitos.....</b>	<b>8</b>
<b>2.7.4. Tratamiento hormonal.....</b>	<b>9</b>
<b>2.8. Órgano pineal.....</b>	<b>10</b>
<b>2.8.1. Anatomía pineal.....</b>	<b>11</b>
<b>2.8.2. Melatonina.....</b>	<b>11</b>
<b>2.9. Control ambiental de la reproducción.....</b>	<b>12</b>
<b>2.9.1. Fotoperiodo y temperatura.....</b>	<b>13</b>
<b>2.9.2. Intensidad de luz.....</b>	<b>15</b>
<b>2.10. Indicadores de bienestar.....</b>	<b>16</b>

<b>III.</b>	<b>PREGUNTA CIENTÍFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>IV.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>V.</b>	<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>18</b>
<b>VI.</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>18</b>
<b>VII.</b>	<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	<b>18</b>
<b>VIII.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
	<b>8.1. Localización del área de estudio</b> .....	<b>19</b>
	<b>8.2. Sistemas experimentales</b> .....	<b>19</b>
	<b>8.3. Arreglo experimental</b> .....	<b>20</b>
	<b>8.4. toma y procesamiento de muestras</b> .....	<b>21</b>
	<b>8.4.1. Anestesia</b> .....	<b>21</b>
	<b>8.4.2. Biometrias</b> .....	<b>21</b>
	<b>8.4.3. canulación</b> .....	<b>22</b>
	<b>8.4.4. Criterios para el conteo de ovocitos</b> .....	<b>23</b>
	<b>8.4.5. Criterios para el estado de maduración de ovocitos</b> .....	<b>24</b>
	<b>8.5. Indicadores de bienestar</b> .....	<b>24</b>
	<b>8.6. Parámetros fisicoquímicos del agua</b> .....	<b>27</b>
	<b>8.7. Medición de luz por estanque</b> .....	<b>27</b>
	<b>8.8. Análisis estadístico</b> .....	<b>28</b>
<b>IX.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
<b>X.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>37</b>
<b>XI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>40</b>
<b>XII.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>41</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Caracterización de ovocitos. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Imágenes comparativas de indicadores de integridad corporal .....	25
<b>Tabla 3.</b> Ambiente lumínico en los estanques experimentales .....	29
<b>Tabla 4.</b> Análisis de componentes principales (ACP) .....	29
<b>Tabla 5.</b> Descripción morfológica de ovocitos.....	33
<b>Tabla 6.</b> Tabla de contingencia de la incidencia de indicadores corporales de bienestar .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representacion del órgano pineal .....	11
<b>Figura 2.</b> Esquema representativo de los ritmos diarios y estacionales de secreción de melatonina.....	12
<b>Figura 3.</b> Ritmos biológicos de los teleósteos .....	13
<b>Figura 4.</b> Vista de Google Earth de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación.....	19
<b>Figura 5.</b> Vista del sistema de reproducción experimental.....	20
<b>Figura 6.</b> Esquema de colores del sistema de circulación abierto utilizado.....	21
<b>Figura 7.</b> Canulación de los peces .....	22
<b>Figura 8.</b> . Medidor portátil de oxígeno disuelto y Refractómetro marca Aichose.....	27
<b>Figura 9.</b> Luxómetro marcaSper Scientific .....	27
<b>Figura 10.</b> Análisis de Componentes Principales (ACP).....	30
<b>Figura 11.</b> Correlaciones de Pearson .....	31
<b>Figura 12.</b> Estado de madurez de las hembras.....	32
<b>Figura 13.</b> Dispersión de datos observados de indicadores corporales de bienestar.....	35
<b>Figura 14.</b> Indicadores corporales de bienestar .....	36

# I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en el estudio del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*), una especie de pez con gran relevancia comercial y ecológica que habita el Golfo de México. La sobreexplotación y la disminución de sus poblaciones subrayan la necesidad de desarrollar estrategias para su reproducción en cautiverio y la conservación de sus hábitats naturales. El robalo blanco, tiene un alto valor como fuente de proteínas para el consumo humano, por lo cual, la sobreexplotación ha generado la urgencia de implementar medidas para su manejo sostenible, destacando la importancia de la reproducción en cautiverio y la repoblación de áreas naturales como estrategias clave, para garantizar la continuidad de la especie y reducir la presión sobre las poblaciones silvestres.

En el presente, se explora el papel del ambiente lumínico sobre la maduración de las hembras, considerando que el fotoperíodo representa un estímulo que afecta al órgano pineal y la síntesis y liberación de melatonina regulando la reproducción en peces (Hou *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2019), por lo cual, es posible que la influencia de la luz en la madurez sexual de los robalos blancos constituye un componente esencial en la optimización de su reproducción en cautiverio. La exposición controlada a ciclos de luz natural desempeña un papel crucial en la sincronización de los procesos reproductivos de esta especie. Comprender estos aspectos es crucial para optimizar la reproducción en cautiverio, sincronizando los procesos reproductivos con condiciones ambientales controladas. Por lo tanto, el objetivo general de este estudio es evaluar el efecto del ambiente lumínico en la maduración sexual y los indicadores corporales de bienestar en las hembras de *Centropomus undecimalis*.

Comprender y manipular adecuadamente estos factores permite simular condiciones ambientales específicas, facilitando la reproducción exitosa de los robalos en ambientes controlados. Este enfoque no solo contribuye al conocimiento fundamental de la biología reproductiva de la especie, sino que también tiene implicaciones prácticas para el desarrollo de estrategias efectivas en acuicultura, promoviendo la sostenibilidad y conservación de los recursos pesqueros.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Importancia de la especie

*Centropomus undecimalis* también conocido como robalo blanco o robalo común, es un pez que se encuentra distribuido en la costa del océano Atlántico incluyendo países del mar del Caribe y en el territorio mexicano, en particular, en el mar del Golfo de México (Chasqui-Velasco, 2017; Piña, 2015; Maldonado, 2004). Existen 12 especies de *C. undecimalis*, pero específicamente en nuestro país existen ocho especies del género *Centropomus* (*C. paralelus*, *C. poeyi*, *C. undecimalis*, *C. ensiferus*, *C. nigrecens*, *C. armatus*, *C. robalito* y *C. pectinatus*), y recientemente encontrado *C. viridis* en la costa norte de Nayarit (Varela *et al.*, 2020). En la zona de Campeche se han registrado tres especies: (*C. undecimalis*, *C. poeyi* y *C. paralelus*), *C. undecimalis*, se destaca por los altos volúmenes de pesca en la región (Chávez, 2003; Perera, 2008; Maldonado, 2004) y se considera una especie tropical ya que no es tolerante a temperaturas bajas (Piña, 2015; Maldonado, 2004).

Por su singularidad, en cuanto alimento se refiere, abundancia y alto valor comercial, el robalo blanco es de gran interés en México, la mayor parte de estos ejemplares se comercializan en fresco entero, congelado o fileteado (Chávez, 2003; Chávez, 2011; Perera, 2008; Piña, 2015; Maldonado, 2004), es preferido por su aroma, textura y la agradable palatabilidad de su carne, ya que contiene del 20-21% de proteína y 0.83% de lípidos (Maldonado, 2004). Varios autores coinciden en que el robalo blanco *C. undecimalis* es un pez marino considerado de gran importancia para la industria pesquera, tanto comercial como recreativa en el Golfo de México (Carrillo, 2009; Chasqui-Velasco, 2017; Gassman *et al.*, 2016; Maldonado, 2004). Esto ha generado una gran disminución de las poblaciones en varias áreas, lo que conlleva a la necesidad de desarrollar tecnologías para la producción de robalo y así repoblar aquellas áreas naturales, dando como resultado el incremento del interés por dicha especie por el potencial económico asociado (Carrillo, 2009), lo que da lugar a la tarea de generar información apropiada para la reproducción del robalo blanco en condiciones de cautiverio, lo cual, motiva no solo a la repoblación de cuerpos de agua, si no que a su vez genera conciencia entre los pescadores para su participación en la producción y engorda, generando así, la condición de cultivar y producir para cosechar (Piña, 2015). Chávez (2023), sugiere como táctica la regularización de robalo blanco *C. undecimalis*, la cual, se dio a conocer a través de la Subdirección Administrativa de Regiones Pesqueras en el año 1976,

en la que se menciona la implementación de un periodo de veda en la región, que comprendería diez días de cada mes durante junio, julio y agosto, cinco días antes y cinco días después de luna llena. Sin embargo, dicha veda tuvo como resultado un rotundo fracaso, ya que no se llegó a respetar y las capturas excesivas de parte de los pescadores, desafortunadamente llegan a coincidir con la reproducción de dicha especie (Chávez, 2011).

Perera (2008), menciona que la desorganización que se adopta en la pesca al abusar de una población incrementa los niveles de mortalidad, así como, la edad de la primera captura. En otras palabras, a medida que aumenta el nivel de explotación y mortalidad por pesca, el tamaño de la proporción de peces longevos disminuye lo que conlleva a una reducción en el tamaño promedio de los individuos que conforman dicha población. *C. undecimalis* es una especie capturada con pesca artesanal, se tienen registros como especie afectada por el uso inconsciente de métodos nocivos de pesca como la dinamita. Esto provoca un riesgo mayor ya que la talla media de madurez (56.4cm) es muy aproximada a la talla media de captura (57.9cm), lo que pone en riesgo el restablecimiento exitoso de las poblaciones (Chasqui-Velasco, 2017), es por lo cual, se ve la necesidad de elaborar e implementar planes de manejo pesquero y una Norma Oficial Mexicana (NOM) para proteger la demanda de dicha especie y de esta forma coordinar su explotación (Chávez, 2011). El amplio interés que se tiene por este grupo de especies se ve reflejado en la disminución de las poblaciones en numerosas áreas naturales, el potencial económico que refleja la captura de dicho espécimen se ve reflejado en la tendencia para desarrollar tecnologías para cultivar el robalo en cautiverio (Chávez, 2011; Carrillo, 2009; Gassman *et al*, 2016; Perera, 2008).

## **2.2. Alimentación**

En su entorno el robalo es considerado un pez marino carnívoro (Chávez, 2023) muy valioso para la industria pesquera comercial. La alimentación se relaciona en gran medida con el hábitat, la distribución y época del año, la ingesta se da durante la marea o al anochecer, su dieta es principalmente de peces (57.3%), y crustáceos, camarones (41%) y cangrejos (18%) (Maldonado, 2004). *Centropomus undecimalis* por su amplia distribución es una especie con un incremento en los índices promedios de captura por unidad de esfuerzo y los valores totales de desembarco en los últimos diez años, lo cual se ve reflejado en el descenso de las capturas tanto en ambientes estuarinos como en aguas abiertas. Por su gran

valor comercial se considera la posibilidad de que la presión sobre los ejemplares juveniles de esta especie se siga manteniendo en alto riesgo complementario en las áreas de cría (lagunas costeras y áreas con manglar) de ser afectadas. Las estadísticas reportan más de una especie por lo que el robalo es señalado como el más importante dentro del grupo de los robalos (Chasqui-Velasco, 2017).

### 2.3. Taxonomía

Clase: Osteichthys

Orden: perciforme

Familia: Centropomidae

Género: *Centropomus* Lacepe, 1802

Especie: *Centropomus undecimalis*

(Chávez, 2023; Piña, 2015; Maldonado, 2004).

### 2.4. Distribución y ecología

*Centropomus undecimalis* o robalo blanco o robalo común, es una especie demersal de zonas tropicales y subtropicales, de ambientes eurihalinos con sedimentos arenosos, aguas dulces y fondos fangosos (Chasqui-Velasco, 2017; Chávez, 2023; Gassman *et al.*, 2016; Perera, 2008). El índice de crecimiento es considerable hasta el segundo año de vida y después desciende ligeramente, en los machos el crecimiento es menor (Chávez, 2023). La edad máxima de crecimiento es de 6-8 años, es una especie hermafrodita potándrica con una proporción sexual 1.0 H: 1.0 M. Se estima que la fecha probable de desove es en los meses de mayo y agosto (Chasqui-Velasco, 2017; Chávez, 2023; Gassman, *et al.*, 2016; Perera, 2008), no obstante, se reporta que la mayoría de los desoves se dan en los meses de julio y agosto, esto se da aparentemente al ser inducidos por la disminución de la duración de los días y las temperaturas altas que se presentan en esas temporadas. El momento final del periodo se refleja en la salinidad del mar, la cual baja por la llegada de las lluvias reduciendo también la temperatura del agua, la edad de la primera madurez sexual reportada en machos es de 5.8 años y para hembras ocho años. Sin embargo, no se descarta que puedan ser menores (Piña, 2015). En el entorno marítimo la talla media de madurez para las hembras, machos y sexos combinados es 59.8, 47.9 y 43.1 cm de longitud total (LT), respectivamente (Chávez, 2023; 2011; Chasqui-Velasco, 2017; Gassman *et al.*, 2016, Maldonado, 2004). Es una

especie gregaria que puede llegar a tolerar altas densidades en cautiverio, amplios rangos de salinidad y temperatura, así como concentraciones de oxígeno tan bajas como 1mg/L. con la llegada de la primavera los desoves ocurren a temperaturas superiores a 22° C y salinidad mayor a 27 ppm, la actividad de los desoves aumenta con la llegada de la luna nueva o llena. El comportamiento prenupcial se caracteriza por la presencia de una hembra y de dos a siete machos. Se estima que la fertilidad media es de más de tres millones de huevos por hembra (Chávez, 2023; 2011; Piña, 2015; Maldonado, 2004).

## **2.5. Anatomía**

Es considerado como el más grande de todos los robalos, tiene un cuerpo más largo que ancho, comprimido y esbelto, en la cabeza el perfil superior es ligeramente cóncavo. Tiene una boca grande y protractil, la mandíbula inferior sobresale poco más de la superior. Con filas de dientes pequeños y en bandas, el margen del opérculo es aserrado (Maldonado, 2004). Cuenta con 18-24 braquiespinas; la aleta anal tiene de 5-7 espinas, la segunda espina es gruesa, curva y más larga que la tercera sin llegar a la base de la aleta caudal cuando se deprime; las aletas pectorales cuentan con 14-16 radios que llegan a ser tan largos como las aletas pélvicas la cual no llega hasta el orificio anal en los adultos. Cuenta con 10 a 14 escamas entre la línea lateral y el origen de la aleta anal, dicha línea se extiende hasta el final de la horquilla de la aleta caudal. Su tonalidad va de amarillo-pardo a pardo-verdoso en el dorso, plateado ventralmente y una línea muy característica de la especie lateral oscura al igual que las aletas. Con respecto al tamaño llega a alcanzar hasta 1.40 cm LT (Chasqui-Velasco, 2017), presenta ojos pequeños sin párpados, su diámetro horizontal es de 6.2 a 9.0 veces la longitud cefálica, cuenta con una vejiga natatoria la cual permite la verticalidad en todo momento, los apéndices de esta vejiga caven 4.5 veces en la longitud de la propia vejiga (Chávez, 2023).

## **2.6. Sistema neuroendocrino**

Carillo (2009), explica que el cerebro de peces posee una serie de sistemas intermediarios que integran las informaciones neurales (proyecciones pineales y retinianas) y neuroendocrinas (melatonina) del fotoperiodo (Liu *et al.*, 2019). y las hacen llegar, de forma directa o indirecta, a sistemas efectores que responden liberando determinadas neurohormonas, estimulan o inhiben la síntesis y secreción de gonadotrofinas hipofisarias

(hormona FSH y LH), que regulan a su vez la gametogénesis y la esteroidogénesis gonadal, así como, otros procesos implicados en la reproducción. Los procesos rítmicos a los que están expuestas las hormonas reproductivas indican que las fases lunares son los principales factores de que se lleve a cabo la sincronización en la actividad testicular, también se ha demostrado que dicho acontecimiento sincroniza la reproducción (índice gonadosomático se da en torno a la luna nueva y la vitelogénesis en la luna menguante), en peces dentro del hábitat marino (Evans *et al.*, 2014).

### **2.6.1. GnRH y dopamina**

La hormona liberadora de gonadotropinas o GnRH, es la encargada de la secreción de gonadotropinas en la hipófisis (Carrillo, 2009; Shin *et al.*, 2014). La GnRH a su vez se expresa en las gónadas, lugar donde actúa la proliferación celular y la esteroidogénesis en los machos, y sobre la apoptosis de las células de la granulosa y la reiniciación de la meiosis en las hembras (Jamienson, 2009). Otra hormona importante es la dopamina ya que es la responsable de inhibir la secreción de varias hormonas adenohipofisiarias lo que provoca el bloqueo de la cascada reproductiva, es la antagonista de la GnRH, la cual, constituye el principal factor para la secreción de gonadotropinas en el proceso reproductivo de los peces (Carrillo, 2009).

### **2.6.2. Regulación hormonal**

Distintos procesos vitales incluidos el reproductivo son la base para la supervivencia, y van de la mano con los cambios cíclicos marcados que repercuten en el ecosistema en que viven los peces. Los cambios abióticos y bióticos a los que están expuestos los ecosistemas marinos, suelen sincronizarse con los cambios de su medio. Por consiguiente, la captación de los estímulos ambientales está dirigida por el sistema nervioso encargado de integrar la información percibida por los receptores sensoriales. Aunque varios tejidos no gonadales como el cerebro, sangre, riñón, e hígado, paralelamente pueden sintetizar hormonas, los esteroides encargados de la reproducción se sintetizan especialmente en la gónada (Jamienson, 2009; Shin *et al.*, 2014). En el específico proceso reproductivo, esta, se integra y es transportada a la hipófisis mediante neurohormonas, en especial las que son de origen hipotalámico, que a al mismo tiempo controlan y modulan la síntesis y liberación de hormonas gonadotropas o gonadotropinas (Carrillo, 2009).

## 7. Reproducción de *C. undecimalis*

Carrillo (2009), define a la reproducción como un proceso esencial para la perpetuación de las especies, cuyo objetivo es generar gametos viables que permitan la fertilización y soporten la embriogénesis. Esta culmina con la eclosión de los huevos generando larvas y alevines que se desarrollarán hasta adultos cerrando así nuevamente el ciclo reproductor. La reproducción, al ser un proceso cíclico, está integrada básicamente de ritmicidades fisiológicas diarias y anuales que necesitan sincronizarse muy estrechamente con las variaciones periódicas del medio ambiente exterior. De esta forma los organismos hacen coincidir sus puestas con el periodo del año más favorable para la supervivencia de la especie.

Dado que el robalo blanco, es una especie de interés comercial, Maldonado (2004), menciona que es un reto para la acuicultura la diversificación y reproducción controlada de esta especie en particular, ya que la reproducción en cautividad continua siendo un proceso de poco control y aleatoriedad, estos inconvenientes son en cierta medida la consecuencia de las alteraciones ambientales (ciclos de luz, temperatura etc.) a las que se sujetan los animales en cultivo, y en su mayoría las condiciones de su medio natural se ven afectadas. La reproducción en peces está, como en los vertebrados, bajo control neuroendocrino, pero respecto a las funciones del hipotálamo, hipófisis y gónadas están influenciadas fuertemente por factores ambientales (Jamienson, 2009; Shin *et al.*, 2014). Si a esto le sumamos los inconvenientes relacionados con el crecimiento y desarrollo (vitalidad, malformaciones), el manejo (estrés y patologías) y la nutrición (desequilibrio alimenticio), veremos que el reflejo de estos cambios afecta al buen desarrollo del proceso reproductivo ya que alteran al sistema hormonal en diferentes niveles del eje pineal-cerebro-hipófisis-gónada. Por lo tanto, el conocimiento de los mecanismos que integran la información ecológica y ambiental, así como el entendimiento sobre los eventos endocrinos y neuroendocrinos que regulan la reproducción son aspectos importantes para la acuicultura de esta especie, ya que pueden contribuir significativamente a controlar su ciclo reproductivo y permitir resolver problemas cotidianos que surgen en las practicas acuícolas (Carrillo, 2009).

### **2.7.1. Transición**

Carrillo (2009), define la diferenciación sexual como: el proceso mediante el cual un rudimento gonadal ya formado, pero sexualmente indiferenciado se transforma en un ovario o un testículo, por su parte, el cambio de sexo es el proceso presente en los hermafroditas secuenciales mediante el cual los animales reorganizan sus gónadas para producir el tipo de gametos distinto al producido en la última maduración sexual. Según la polaridad del cambio de sexo, las especies que lo experimentan se clasifican en potándricas (macho → hembra). La presencia de individuos en transición en los meses inmediatamente posteriores a la madurez sexual máxima sugiere que el cambio de sexo no ocurre durante el periodo reproductivo, sino que se da enseguida de este (Perera, 2008). Chávez (2023), reporta que se observan animales en transición que tenían tejido espermatogénico degenerado y tejido ovárico en desarrollo; determina también que el 50% de los organismos cambia de macho a hembra, cuando tienen una talla media de 51.5 cm y una edad de 3.4 años, aunque se describen casos de reversión sexual con tallas de 72 cm y 83 cm de Longitud Furcal (LF), con pesos de 2,850 g y 4,100 g.

### **2.7.2. Desarrollo gonadal**

Previo a la ovulación en las gónadas y la puesta, comienza el desarrollo, crecimiento y maduración, proceso en la que tiene lugar la gametogénesis; oogénesis y espermatogénesis. Bajo la influencia de hormonas del hipotálamo y la hipófisis, las gónadas a su vez sintetizan y secretan esteroides sexuales en el sistema circulatorio, lo que ayuda a regular diversos procesos metabólicos. En el ciclo reproductivo de las hembras se puede distinguir las siguientes etapas del desarrollo: perinúceo, alveolo cortical, vitelogénesis primaria, secundaria, terciaria, maduración inicial y ovulación (Young *et al.*, 2020; Gómez, 2002).

### **2.7.3. Ovarios y ovocitos**

El ovario de los teleósteos es un órgano complejo que va desde lo simple a funciones como la de generar oocitos, producir y almacenar esperma, la fertilización e incluso la nutrición para el desarrollo completo del embrión (Carrillo, 2009). Diversos autores coinciden que atendiendo al ritmo de desarrollo de los oocitos intraováricos se han distinguido tres tipos de ovarios: sincrónicos, asincrónicos y sincrónicos en grupo (Carrillo, 2009; Gassman *et al.*, 2016; Perera, 2008; Maldonado, 2004). Las hembras de *C.*

*undecimalis*, se caracterizan por tener ovarios sincrónicos. La sincronía ovárica implica que todos los oocitos de un mismo ovario estén en el mismo estado de desarrollo. Es propio de aquellas especies que ponen una sola vez en la vida como los salmones del pacífico.

*C. undecimalis*, como ya se mencionó, es una especie que tiene un desarrollo ovárico sincrónico y la especie es conocida por ser hermafrodita potándrica (Chávez, 2011; Carrillo, 2009; Gassman *et al*, 2016; Perera, 2008; Maldonado, 2004). Esto significa que todos los miembros de su población nacen como machos productores de esperma y en algún momento de sus vidas cambian de sexo para convertirse en hembras productoras de óvulos (Piña, 2015; Carrillo, 2009). El ovocito primario inicia una fase de crecimiento en la que se producen dos estadios: el primer proceso es previtelogénica, en la que los ovocitos aumentan de tamaño debido al crecimiento citoplasmático, y un segundo proceso de vitelogénesis, en la que se acumulan los nutrientes que serán almacenados para ser aprovechados por el embrión los cuales se depositan en el ovocito maduro, subsiguiente a este proceso y como último paso se da la maduración y como producto final la ovulación. En este punto, el óvulo está completamente formado y listo para la fertilización (Maldonado, 2004).

#### **2.7.4. Tratamiento hormonal**

Con el tratamiento hormonal se induce la maduración, lo cual, permite reducir el tiempo para la temporada de desove y por ende la producción espermática en los machos (Jamienson, 2009). Se ha optado por la técnica de manipulación del fotoperiodo, precipitaciones pluviales, temperatura, acompañada de hormonas para determinar el momento preciso en que las hembras sean inducidas y aprovechar las épocas deseables para suministrar alevines a la industria (Evans *et al.*, 2014). En la literatura podemos encontrar reportes del manejo hormonal y técnicas utilizadas para la inducción al desove de robalo blanco. Varios resultados de gran importancia se han obtenido en diferentes partes del mundo los cuales reportan el uso exitoso de Gonadotropina Coriónica Humana (GCH), la cual, produce una ovulación con una dosis de 500 UI/kg de peso, de la cual se obtiene huevos una buena viabilidad y alta supervivencia larval, con el uso de esta hormona los desoves en cautiverio registran que los huevos alcanzan un diámetro de 700  $\mu\text{m}$  y eclosionan a las 17-18 horas después de ser fertilizados a temperaturas entre 26 a 29° C y con salinidad de 28 a 38 ppm. Para determinar si la hembra es viable para la inducción de la GCH el ovocito debe ser mayor a las 300  $\mu\text{m}$ , anterior a esto las hembras deben ser canuladas para obtener una muestra

de los ovocitos y comprobar el estado de maduración de estos. Posteriormente el diámetro de los huevos ya fertilizados alcanza tallas de los  $746.50 \pm 2.12 \mu\text{m}$  en promedio (Piña, 2015).

## 2.8. Órgano pineal

Los factores ambientales cíclicos como el fotoperiodo y la temperatura son sucesos que se encuentra regulados en la reproducción de los peces lo que conlleva a un marcado proceso altamente rítmico (Bœuf, 1999). Los cambios diarios y estacionales desde los ciclos luz-oscuridad (días más largos en verano, días más cortos en invierno y días más largos en primavera y otoño), son condicionantes para los animales en sus hábitats naturales y se sujetan a ellos, es así como se adaptan de manera gradual a los cambios en la temperatura del agua (agua más cálida en verano, más fría en invierno, templada en primavera y otoño). Estas señales son confiables para los peses lo que les proporciona la capacidad de adaptarse a la ciclicidad que se repite año con año en la duración del día y la temperatura del agua. Para hacer frente a estos cambios cíclicos y poderse adaptar a ellos, los animales han elegido la época del año que les resulta más favorable para la reproducción y la supervivencia de su descendencia (Carrillo, 2009). Los fotorreceptores en la retina y la glándula pineal son los encargados de proporcionar "información de luz" a los peces (Bœuf, 1999).

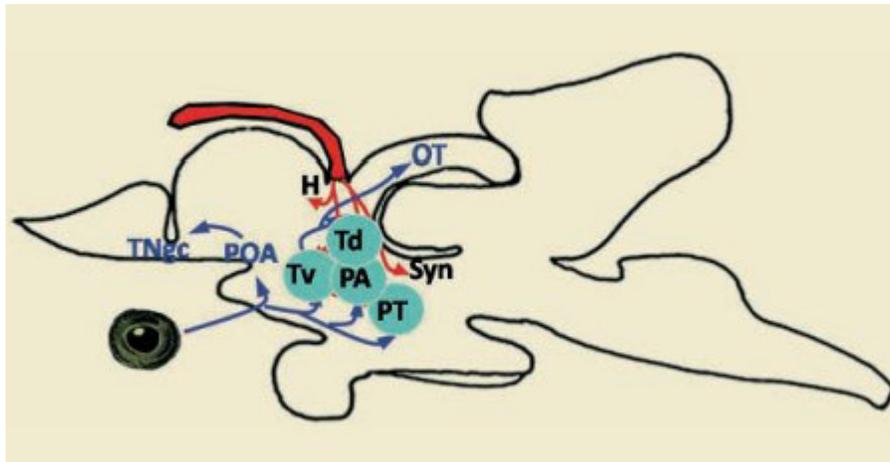
Sin embargo, para que la reproducción sea exitosa, no solo los individuos deben sincronizarse con los cambios en los factores ambientales (Evans *et al.*, 2014), sino que también es necesario que los reproductores se sincronicen entre sí para que el cardumen madure en conjunto. Para que se presente el correcto desarrollo de todos estos procesos es necesario la integración a lo largo del eje pineal-cerebro-hipófisis-gónada. Para que los estímulos ambientales (fotoperiodo, temperatura, etc.) y sociales (presencia de otros individuos, densidad de población, proporción de sexos, etc.) sean recibidos, los individuos disponen de sistemas sensoriales y receptores específicos (Carrillo, 2009).

La glándula pineal, es una estructura neural con facultad secretora lo que la hace importante para la captación de información proveniente del exterior como el fotoperiodo y la temperatura y de esta manera recolectar la información en señales nerviosas (neurotransmisores) y neuroendocrinas (melatonina) asegurando la sincronización con el entorno de los muchos procesos rítmicos, en la cual la reproducción está incluida. La información que proporciona la glándula pineal debe llegar directa o indirectamente al

hipotálamo y a la hipófisis, las cuales controlan los ritmos del desarrollo gonadal y reproductivo (Hou *et al.*, 2019; Bœuf, 1999; Carrillo, 2009).

### 2.8.1. Anatomía pineal

La glándula pineal en los peces es una estructura fotorreceptora alargada situada en la línea media, entre el telencéfalo y el casquete óptico, se sincroniza con el cerebro de forma bidireccional a través de enlaces eferentes que se originan en la glándula pineal y de impulsos aferentes que llegan a la glándula pineal (Figura 1) (Hou *et al.*, 2019; Carrillo, 2009).

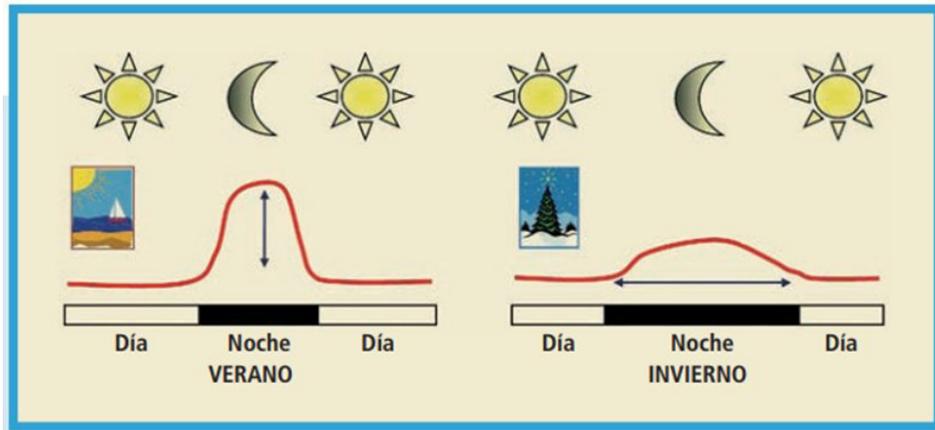


**Figura 1.** Representación del órgano pineal (rojo) y retina (azul). Las áreas en círculos son a las que corresponden a una innervación de las estructuras fotorreceptoras, H, habénula; OT, techo óptico; PA, área pretecal; POA, área preóptica; PT, tubérculo posterior; Syn, sinencéfalo; Td, tálamo dorsal; TNgc, células ganglionares del nervio terminal; Tv, tálamo ventral (Carrillo, 2009).

### 2.8.2. Melatonina

En los peces, la glándula pineal procesa la información captada por el ambiente (fotoperiodo) en señales neuroendocrinas que corresponde a la hormona melatonina, la cual se activa dependiendo de los ritmos circadianos y es la encargada de controlar el proceso reproductivo (Hou *et al.*, 2019; Evans *et al.*, 2014), dicha hormona, también se secreta por la retina, aunque en cantidades menores, regula gran parte de la actividad circadiana y estacional de los vertebrados. Las concentraciones plasmáticas de melatonina tienden a aumentar durante el anochecer y disminuir al amanecer. Los cambios cíclicos que ocurren a diario en la secreción de melatonina son el reflejo de la expresión de la actividad rítmica de

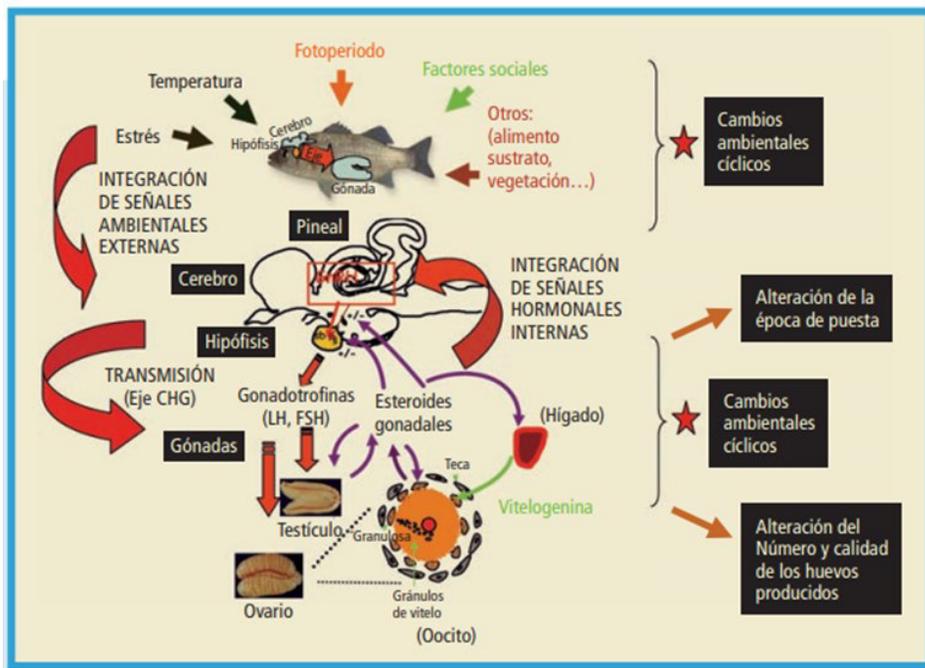
la enzima pineal serotonina N-acetiltransferasa (NAT), que es una enzima clave en la biosíntesis de melatonina (Carrillo, 2009). Los cambios hormonales y ciclos reproductivos lunares actúan como transductores de las fases lunares de los peces por medio de la melatonina (Figura 2) (Carrillo, 2009; Liu *et al.*, 2019; Hou *et al.*, 2019).



**Figura 2.** Esquema representativo de los ritmos diarios y estacionales de secreción de melatonina (Carrillo, 2009).

## 2.9. Control ambiental de la reproducción

Las adaptaciones fisiológicas de los peces, al ser animales poiquiloterms es decir que no tienen la capacidad de regular su temperatura interna, muestran ritmos biológicos diarios y estacionales que por lo general van de la mano con los factores ambientales que también varían diaria y estacionalmente. Algunos de los factores son: la luz, temperatura, fenómenos gravitacionales, accesibilidad al alimento, depredadores y compuestos fisicoquímicos entre otros. La capacidad de adaptación que tienen los peces a su entorno ambiental es debido a la interpretación del cerebro, que, como primera característica recolecta la información que percibe del exterior y, como segunda característica la interpretación de las señales hormonales que se originan en los órganos periféricos (Figura 3) (Carrillo, 2009).



**Figura 3.** Factores que modifican los ritmos biológicos de los teleósteos (Carrillo, 2009).

Como se ha mencionado antes los peces están íntimamente vinculados con los cambios biológicos presentando sincronía con el entorno con respecto a la luz y temperatura (Evans *et al.*, 2014), esto se ve reflejado en los patrones rítmicos hormonales que regulan con éxito cada proceso reproductivo, permitiendo que los desoves se adapten con la época del año más adecuada para el óptimo crecimiento y prevalencia de la especie, lo cual es vital para que se obtengan una excelente calidad en los huevos y por consiguiente larvas aptas para la supervivencia del entorno. Por lo tanto, con lo antes mencionado si hubiese una mala manipulación ya sea del fotoperíodo, temperatura, etc.; las consecuencias a las que se expone la especie es un ciclo hormonal inadecuado, afectando la reproductividad, lo que repercute en un cambio de la época del año del desove, mala o nula fecundidad y sin viabilidad de los huevos en cada puesta (Maldonado, 2004).

### 2.9.1. Fotoperíodo y temperatura

Se han evaluado estudios con el propósito de identificar el impacto, tanto positivo como negativo, del fotoperíodo en distintas fases del ciclo de vida de diferentes especies animales, incluidos los teleósteos. El fotoperíodo desempeña un papel muy importante en la influencia que este ejerce en la liberación de hormonas reproductivas y la activación de estímulos que conllevan al desarrollo sexual, el cual, ejerce un efecto directo en los procesos

reproductivos de las distintas especies. Es por lo cual, que la acuicultura se ha incorporado a esta dinámica, para alterar el ciclo reproductivo con el fin de mejorar la sincronización de la maduración sexual, inducir el desove y controlar la sobrepoblación o en efecto contrario aumentar el número de individuos de un hábitat en específico. Estas adaptaciones, pueden ser logradas mediante cambios en la iluminación que altera la glándula pineal y el hipotálamo, ambas responsables de secretar y sintetizar hormonas reproductivas, como la hormona liberadora de gonadotropina, estradiol, progesterona y testosterona, las cuales, son las encargadas de regular el desarrollo gonadal de los peces. Esta manipulación lumínica (fotoperíodo), incrementa la frecuencia de fecundidad e intensifica la producción de huevo. El cerebro detecta señales provenientes de las variaciones lumínicas, estimulando la liberación de melatonina desde la glándula pineal, a su vez, opera como un transmisor de señales hacia la glándula pituitaria e hipotálamo, lo que provoca la liberación de dichas hormonas reproductivas lo que da como resultado un desarrollo óptimo gonadal y una mejora en la condición de ovocitos de determinadas especies (Flores *et al.*, 2014; Bœuf, 1999; Hou *et al.*, 2019; Martínez *et al.*, 2021;).

La exposición constante de luz puede llegar a provocar un desarrollo gonadal anormal, una falta de sincronización o madurez temprana en algunas especies de teleósteos (Martínez *et al.*, 2023; Ma *et al.*, 2023). Uno de los principales elementos abióticos que incide en la coordinación de muchos peces es el ciclo diario de luz y oscuridad, responsable de regular los patrones circadianos relacionados con la actividad motora, desarrollo óptimo, alimentación y reproducción. Una posible explicación para estas variaciones podría ser la relación entre los diferentes patrones de temperatura a lo largo del día, que influyen en la actividad locomotora de los peces. En otras palabras, los peces tienden a seleccionar temperaturas elevadas cuando su actividad alcanza su punto máximo, generando un cambio significativo en especies nocturnas que prefieren temperaturas más altas durante la noche que durante el día (De Alba *et al.*, 2024). Hasta la fecha, la investigación sobre los patrones diarios de temperatura preferida por los teleósteos es limitada, aunque en especies de otros grupos taxonómicos como moscas y ratas se ha observado que la temperatura preferida está controlada por el reloj molecular presente en el ganglio dorsal y las neuronas del sistema nervioso central (De Alba *et al.*, 2024; Céspedes *et al.*, 2024). La temperatura se considera un factor crucial relacionado con la maduración temprana, afectando tanto el crecimiento como la reproducción, independientemente de la presencia o ausencia del estímulo del

fotoperiodo (Martínez *et al.*, 2023; Ma *et al.*, 2023). En los peces, al igual que en otros poiquiloterms, la temperatura es un factor ambiental cuyo impacto repercute en la actividad biológica y procesos vitales, incluyendo la reproducción, el desarrollo y el crecimiento, fundamentales para la perpetuación de los seres vivos (De Alba *et al.*, 2024).

### **2.9.2. Intensidad de la luz**

La literatura consultada no presenta informes sobre el efecto de la intensidad de la luz en *C. undecimalis*. Sin embargo, la luz actúa como un estímulo externo desencadenando la síntesis de melatonina, regulando funciones fisiológicas estacionales y dependientes del tiempo en los peces, como el ciclo reproductivo y la migración estacional (Hou *et al.*, 2019). La luz influye en condiciones fisiológicas, supervivencia, alimentación, crecimiento, reproducción, comportamiento y ritmos biológicos de los peces en general. En acuicultura, los diodos emisores de luz (LED) son apreciados por su capacidad para regular el entorno luminoso, siendo especialmente útiles en la reproducción (Cai *et al.*, 2023; Shin *et al.*, 2013). Pocos estudios, se ha explorado el efecto del fotoperiodo con diversas intensidades de luz en la producción acuícola. Martínez *et al.* (2021) demostraron mejoras en el crecimiento y maduración gonadal en peces expuestos a iluminación continua. La luz, con sus características de calidad, cantidad y fotoperiodo, ejerce un impacto significativo en la función fisiológica de los peces (Shin *et al.*, 2014). La luz solar y la temperatura son fundamentales para la regulación de la reproducción en los peces, aunque principal fuente de iluminación, puede variar considerablemente, afectando a su entorno acuático, donde la medición de la calidad de la luz es difícil. La iluminancia, medida en lux, se utiliza para evaluar cuantitativamente la luz blanca. Los estudios sobre la intensidad de la luz han sido realizados, pero con limitaciones en la rigurosidad y el uso recurrente de lux como unidad de intensidad (Bœuf, 1999). La intensidad de luz que los peces experimentan en su propio hábitat se ve influenciada por la turbidez del agua y profundidad de nado. Los estudios sobre posibles influencias de las distintas intensidades de luz sobre la maduración sexual son complicados en llevarse a cabo ya que, en ambientes de agua salada, las intensidades lumínicas más altas pueden provocar respuestas más rápidas y pronunciadas en reproducción y crecimiento (Oppedal *et al.*, 1997).

## **2.10. Indicadores de bienestar**

Los indicadores de bienestar están relacionados con el bienestar animal, que se define como el estado de un individuo relacionado con los mecanismos biológicos para adaptarse a los cambios naturales del ambiente, lo que engloba salud, confort y estado emocional. Los productores tanto terrestres como acuicultores deben asegurar tranquilidad, comodidad, protección y seguridad durante la crianza y así mismo, mantenimiento, producción, transporte y matanza ética de los animales, es por cual se deben supervisar factores como calidad de agua, densidad poblacional y alimentación. Según el modelo de los cinco dominios, son factores relacionados con la supervivencia y situacionales afectan el bienestar animal, influyendo directamente en su estado mental (David, 2019; Flores *et al.*, 2014). Estudios recientes revelan la interacción entre el bienestar de los peces y los aspectos fisiológicos que son de impacto en la producción. Indicadores como tasa de mortalidad, comportamiento, apetito y condiciones físicas son clave en este tipo de producción para evaluar el bienestar. Por lo tanto, el bienestar animal se entiende como el estado individual en relación con el entorno y debe ser independiente de consideraciones éticas. La investigación científica se centra en identificar factores y variables de manejo que afectan negativamente el bienestar de los peces en producción intensiva, como densidades de cultivo, alimentación y características del agua. La evaluación en acuicultura requiere indicadores confiables y prácticos, como el daño en la aleta dorsal, basado en nociceptores que perciben dolor y su relación con el sufrimiento (Cañon, 2012; David, 2019).

### III. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Cuál es el efecto del ambiente lumínico en la maduración sexual y los indicadores corporales de bienestar en hembras de *Centropomus undecimalis*?

### IV. JUSTIFICACIÓN

La especie *Centropomus undecimalis*, también conocida como robalo blanco o robalo común, presenta una relevancia significativa en México debido a que es utilizado como fuente de alimento para consumo humano y, por lo tanto, su alta demanda en el mercado y su alto valor comercial. La sobreexplotación de las poblaciones naturales ha llevado a la necesidad de desarrollar tecnologías para la reproducción, repoblación de área y producción en acuicultura. Sin embargo, la falta de regulaciones efectivas y la presión pesquera han llevado a la disminución de las poblaciones. El posible éxito de la conservación de la especie está directamente relacionado con la reproducción y su cultivo en cautiverio, por lo tanto, el éxito de los programas de producción depende en gran medida de la capacidad de reproducir y mantener poblaciones saludables en cautiverio. La necesidad de conocer la biología reproductiva de las especies objetivo se vuelve evidente al considerar los desafíos inherentes a la reproducción en cautiverio. Cada especie presenta características únicas en su ciclo reproductivo, comportamiento de apareamiento, y requerimientos específicos durante la reproducción. La comprensión detallada de estos aspectos, como la maduración sexual, es esencial para diseñar estrategias de cultivo que imiten de manera efectiva las condiciones naturales y maximicen las tasas de éxito. El conocimiento profundo de la biología reproductiva no solo optimiza la producción en un cultivo controlado, sino que también proporciona una base científica sólida para la toma de decisiones en la gestión de la producción, en particular, del manejo reproductivo.

## V. HIPÓTESIS

Dada la relevancia del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en México como fuente de alimento para consumo humano y el estado de las poblaciones naturales debido a la sobreexplotación y la falta de regulaciones efectivas, se plantea que un enfoque integral en la comprensión y aplicación de la biología reproductiva, junto con el desarrollo de tecnologías para la reproducción y cultivo en cautiverio, será crucial para el éxito de los programas de conservación y posiblemente para su producción sostenible. Además, se postula que la evaluación del efecto del ambiente lumínico sobre el estanque en la maduración de las hembras, así como, en los indicadores corporales de bienestar en hembras de *Centropomus undecimalis*, contribuirá de manera significativa a la optimización de las estrategias de manejo reproductivo en ambientes controlados y, por ende, a la conservación efectiva de la especie y su cultivo en cautiverio. Puesto que la intensidad de la luz tiene un efecto en la reproducción, entonces, se espera que diferentes ambientes lumínicos afecten de manera positiva el proceso de maduración de las hembras y, al mismo tiempo, las respuestas fisiológicas al estrés que pudieran verse reflejados en la integridad corporal de las hembras, en particular, con la presencia / ausencia de lesiones en el cuerpo en general, boca, agallas y aletas.

## VI. OBJETIVO GENERAL

¿Cuál es el efecto del ambiente lumínico en la maduración sexual y los indicadores corporales de bienestar en hembras de *Centropomus undecimalis*?

## VII. OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar el efecto del ambiente lumínico en la maduración sexual de hembras de robalo blanco por medio de conteo, medición de diámetro y morfología de ovocitos.
- Determinar el efecto del ambiente lumínico en los indicadores corporales de bienestar en hembras de robalo blanco por medio del análisis fotográfico sobre la integridad de las aletas dorsal, caudal, anal y laterales, cuerpo, ojos, branquias y poro genital y K de Fulton.

## VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1. Localización del área de estudio

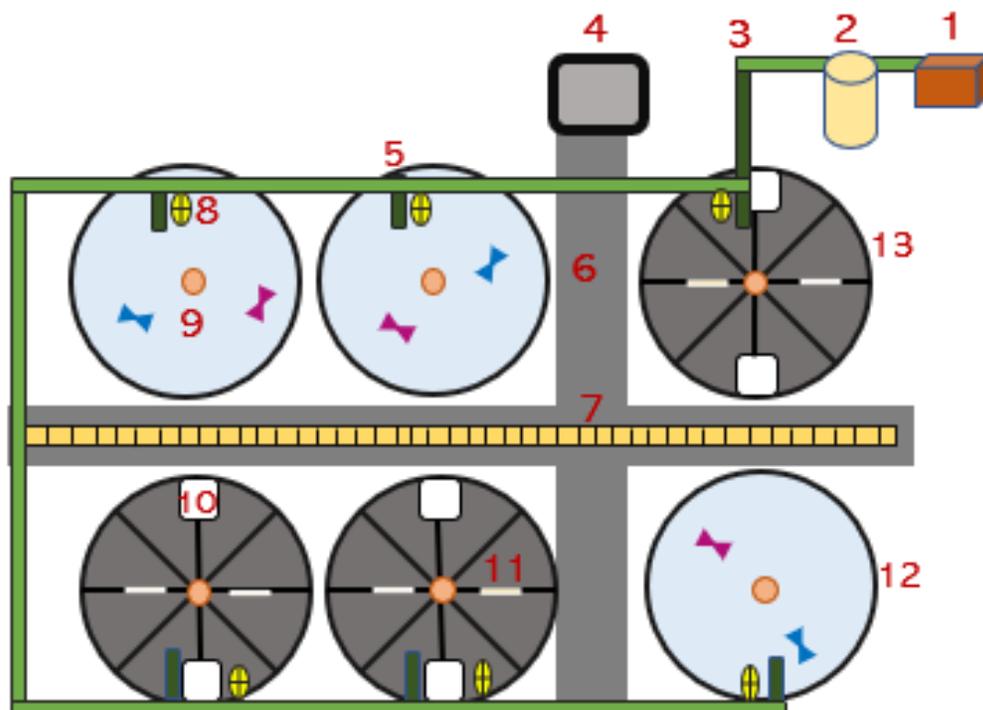
El estudio se llevó a cabo en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada en el Puerto de Sisal, Yucatán, México (Figura 4).



**Figura 4.** Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Puerto de Abrigo S/N, UNAM, 97355, Sisal, Yucatán. \*Invernadero donde se ubicaron tanques de reproducción de robalo blanco (*C. undecimalis*) experimentales utilizados en el estudio.

### 8.2. Sistemas experimentales

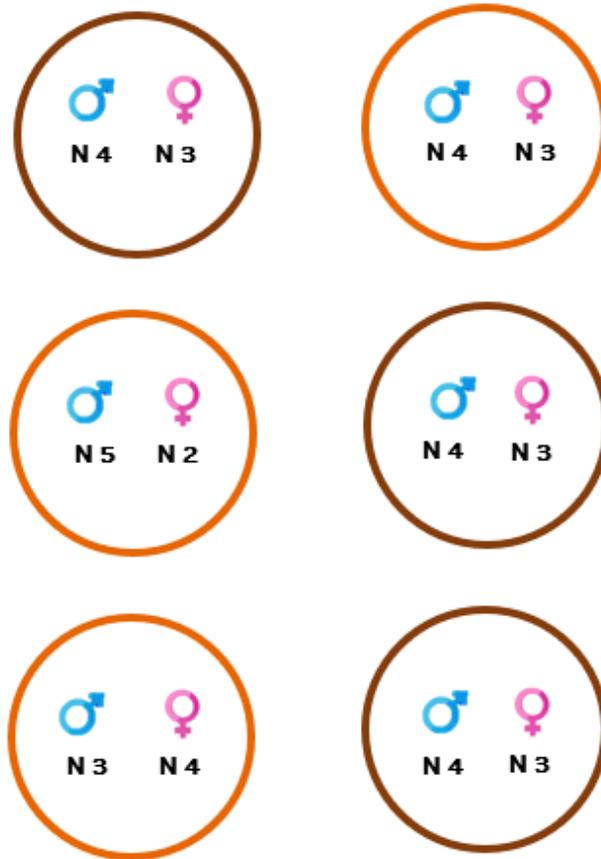
Se utilizaron 6 estanques cilíndricos de fibra de vidrio de 12 m<sup>3</sup> con una aireación constante, con flujo abierto donde ingresa el agua, previamente filtrada, de pozo marino; el recambio de agua es del 200% en 24 h (Ibarra *et al.*, 2011). Los estanques estaban situados en un invernadero de 12 × 30 m, con una cobertura de lona, de color blanco y suspendida a 3.5 m sobre los mismos. El invernadero estuvo bajo oscilaciones naturales de temperatura y fotoperíodo (Figura 5).



**Figura 5.** Vista del sistema de reproducción experimental, (1) bomba de agua, (2) filtro de arena, (3) sistema de tubería, (4) entrada al invernadero, (5) entrada de agua a los tanques, (6) pasillo, (7) desagüe, (8) aireación, (9) salida parcial de agua, (10) ventana del estanque con luz combinada (11) lámparas LED 18W. (12) estanque luz natural. (13) estanque luz combinada.

#### 8.4. Arreglo experimental

Para el experimento, se colocaron coberturas parciales (75 %) de fibra de vidrio a 3 estanques y, los otros 3 sin cobertura. En los tanques con cobertura Parcial se contó con luz eléctrica para tener iluminación combinada, por lo que fueron instaladas dos lámparas de luz LED (diodo emisor de luz, light emitting diode) color blanca de 18 W (flujo luminoso de 1600 lm, Marca Tecnolite mod. 18T8LED120MV65C). Los tratamientos fueron definidos como luz natural (sin cobertura) y luz combinada (luz natural en una ventana del 25 % más la luz LED) (n=3, Figura 6).



**Figura 6.** Esquema de colores del sistema de circulación abierto utilizado.  
 Estanques con luz combinada.   
 Estanques con luz natural.

## 8.5. Toma y procesamiento de muestras

### 8.5.1. Anestesia

Los peces fueron sedados en el tanque experimental usando aceite esencial de clavo (AEC) (1mL / 20L de agua) (Piña, 2015), en su estanque se utilizaron 10 mL de AEC en 25 cm<sup>3</sup> por 10 min, posteriormente, se atrapó al pez con una camilla acuática, para sumergirlos en un contenedor con agua de mar a la cual se le ha agregado AEC, a razón de 4 mL / 20L de agua, donde los peces se dejaron por un lapso de 3 a 6 min para lograr una anestesia profunda (Suárez, 2023).

### 8.5.2. Biometrías

Para poder obtener los datos de biometrías (peso y largo), los peces fueron pesados en una báscula digital (marca Rhino modelo BAPO-10) y medidos con un ictiómetro. Con los datos de peso y talla, se calcularon la condición corporal mediante la siguiente fórmula:

K de Fulton (pez): 
$$K = 100 * \frac{P}{(L)^3}$$

Dónde:

K= factor de condición K de Fulton

P= peso del pez en gramos

L= longitud del pez en centímetros

### 8.5.3. Canulación

Para la canulación de los peces, se utilizó una cánula de teflón de 1.27 mm de diámetro, marca Aquatic Ecosystems, introduciéndola de manera vertical en la entrada del gonoducto del pez, y posteriormente, de manera horizontal en el conducto de la gónada paralelamente al cuerpo del pez. Mediante aspiración, se pasa la muestra obtenida directamente a un tubo Eppendorf de 500  $\mu$ L estéril y seco (Figura 7).



**Figura 7.** a) canulación de los peces, b) colecta de ovocitos en tubo Eppendorf.

Procedimiento: se introducen unos 5 cm dentro de la gónada, y después, a medida que se va retirando la cánula del cuerpo del pez se va succionando con la boca la cánula para atraer el ovocito al interior de la cánula (Piña, 2015). Una vez obtenido el ovocito, se deposita un poco de la muestra en un portaobjetos para la observación inmediata y determinar si la hembra es madura o no, el resto se deposita en tubos Eppendorf para agregar agua de mar al 32% y observarse en microscopio posteriormente. Cuando el diámetro del ovocito es mayor

a 300 $\mu$ m, la hembra se considera en proceso de maduración y está lista para ser inducida al desove hormonalmente.

#### ***8.5.4. Criterios para el conteo de ovocitos***

Para fines del experimento, los ovocitos contabilizados fueron solo los que tuvieron una circunferencia bien definida, es decir, solo se registró la parte exterior de ovocito, sin tomar en cuenta el color o el tamaño de vitelogénesis. Siempre y cuando se cumplieran los criterios anteriores, los ovocitos agrupados que respeten las características señaladas también se mencionaron, excepto los amorfos o explotados. Si la muestra de ovocitos estaba compacta o con tejido, dentro del tubo Eppendorf se homogeneizó la muestra con la ayuda de una pipeta de 20  $\mu$ L para que los ovocitos se dispersaran y su conteo fuese lo más preciso posible.

Para la observación de los ovocitos se contabilizaron de 80 a 100 células por muestra, se cuantificaron el número total de ovocitos en el volumen de la muestra obtenida y se expresaron por  $\mu$ L. Las muestras se colocaron en tubos de Falcon de 50 mL con solución agua de mar 32%, con el propósito de observarlos en días posteriores (Morales, 2023). Al recibir la muestra de ovocitos se observa al microscopio a 10x y con la ayuda de una regleta situada en uno de los objetivos del microscopio se midió el diámetro del ovocito para determinar con mayor rapidez la madurez de la hembra y, entonces, es factible el proceder con la inducción hormonal. Después de examinar los ovocitos, se introdujeron aproximadamente 200  $\mu$ L de una solución de agua de mar al 32% en un tubo Eppendorf. De este volumen, se extrajeron 20  $\mu$ L y se depositaron en un portaobjetos cóncavo para llevar a cabo la observación y su conteo. Después de eliminar la solución de agua de mar, se procedió a agregar 20  $\mu$ L de la solución aclaradora y seguir con la cuantificación. Una vez concluido este procedimiento, los ovocitos fueron sumergidos en 200  $\mu$ L de la misma solución. En otro tubo Eppendorf, se incluyó una solución con formol (200  $\mu$ L), que se mantuvo refrigerada durante 3 días para su recuento subsiguiente. Para determinar si las hembras estaban maduras, el ovocito debía tener una circunferencia de 341-645 $\mu$ m, si la circunferencia era menor se consideraban inmaduras. Una vez que fueron identificadas las hembras en proceso de maduración, éstas fueron inyectadas intramuscularmente con gonadotropina coriónica humana (GCH), con una dosis de 500 UI/k, debajo de la aleta pectoral (Piña, 2015).

### 8.5.5. Criterios para el estado de maduración de ovocitos

Los ovocitos observados, se caracterizaron de acuerdo con su diámetro, según con lo descrito por Gómez (2004), el cual, indica las siguientes etapas de desarrollo ovocitario (Tabla 1):

**Tabla 1.** Caracterización de ovocitos de acuerdo con el tamaño del diámetro ( $\mu\text{m}$ ) de *Centropomus undecimalis* (Gómez, 2004).

	Intervalo	Promedio
Perinúcleo	<118	
Alveolo cortical	< 200	
Vitelogénesis primaria	121 - 282	171
Vitelogénesis secundaria	292 - 353	257
Vitelogénesis terciaria	353 - 474	396
Maduración inicial	434 - 565	486
Ovulación	550 - 800	

### 8.6. Indicadores de bienestar

Para los indicadores corporales de bienestar, se tomaron fotografías de cada estructura corporal para contar con el registro individualizado y señalar ausencia / presencia de lesiones en aletas dorsal, caudal, anal y laterales, cuerpo, ojos, opérculos, branquias y poro genital, de acuerdo con la metodología descrita por Flores-García *et al.* (2022) (Tabla 2), y el nivel de daño según lo mencionado por Cañon (2012).

**Tabla 2.** Imágenes comparativas de indicadores de integridad corporal para determinar lesión (E: evento), y nivel de daño (D: 1, 2 o 3).

**Sin lesiones**



Integridad corporal general (E: 0)



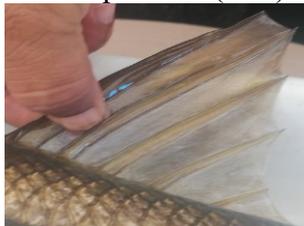
Boca (E: 0)



Branquias (E: 0)



Aleta pectoral (E: 0)



Aleta dorsal (E: 0)

**Con lesiones**



Integridad corporal general (E: 1 - D: 3)



Boca (E: 1 - D: 3)



Branquias (E: 1, D: 1)

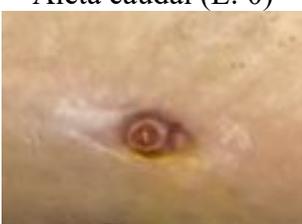


Aleta pectoral (E: 1, D: 2)



Aleta dorsal (E: 0 - D: 3)

**Tabla 2.** Imágenes comparativas de indicadores de integridad corporal para determinar lesión (E: evento), y nivel de daño (D: 1, 2 o 3).

<b>Sin lesiones</b>	<b>Con lesiones</b>
 Aleta suave dorsal (E: 0)	 Aleta suave dorsal (E: 1 – D: 1)
 Aleta pélvica (E: 0)	 Aleta pélvica (E: 1 – D: 3)
 Aleta anal (E: 0)	 Aleta anal (E: 1 – D: 3)
 Aleta caudal (E: 0)	 Aleta caudal (E: 1 – D: 1)
 Poro genital (E: 0)	 Poro genital (E: 1 – D: 3)

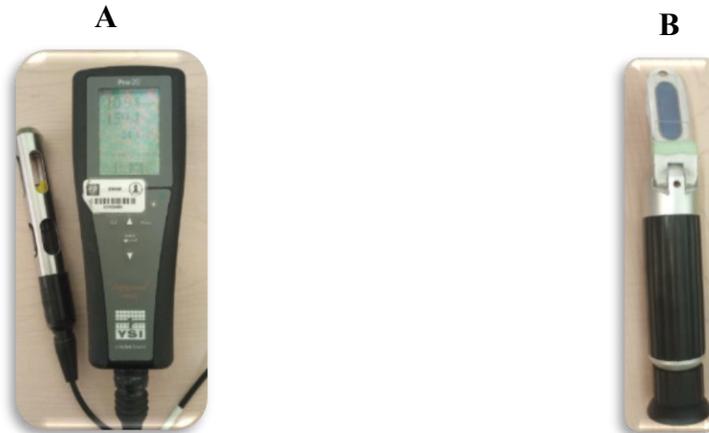
**Interpretación.**

Integridad corporal general: 0 = bien, 1= raspado, 2 = herida, 3 = con presencia de hemorragia.

Integridad de aletas y poro genital: 0 = bien, 1 = 1-50% de daño, 2 = 51-100% de daño, 3 = con presencia de hemorragia.

## 8.7. Parámetros fisicoquímicos del agua

Para asegurar una calidad del agua adecuada de manera semanal, se tomaron muestras de oxígeno, temperatura y salinidad dos veces al día (mañana y tarde), para ello, se utilizó un medidor portátil de oxígeno disuelto y temperatura YSI Pro20i y un refractómetro marca Aichose (Figura 8), los parámetros se tomaron en un costado de cada estanque.



**Figura 8.** A. Medidor portátil de oxígeno disuelto. B. Refractómetro marca Aichose.

## 8.10. Medición de luz por estanque

Con el objetivo de medir la luminosidad (la cantidad total de luz, en lúmenes) que incide sobre cada estanque, se realizaron mediciones lumínicas con un luxómetro Sper Scientific (figura 9) en diferentes momentos del día. Con ese análisis se buscaba evaluar las disparidades en iluminación entre los estanques, dado que la luz desempeña un papel crucial en los procesos fisiológico, en el comportamiento reproductivo, desove, así como inducir la maduración temprana de ciertas especies y la tasa de crecimiento de organismos acuáticos (Flores *et al.*, 2014).



**Figura 9.** Luxómetro marca Sper Scientific

## 8.11. Análisis estadístico

Se realizó un estudio comparativo, con un arreglo completamente al azar y dos tratamientos de ambiente lumínico (con luz combinada: “Combinado” y con luz natural: “Natural”). La homogeneidad de los datos fue revisada por medio de pruebas de sesgo y curtosis (Freund, 2004). Para el análisis de los valores de conteo y maduración de ovocitos (diámetro), así como, de condición corporal (K Fulton), los datos fueron transformados por medio de una estandarización, para eliminar el efecto de la unidad de medida sin afectar el efecto provocado por el tratamiento (Hastie *et al.*, 2009). Posteriormente, los datos fueron ordenados por medio de un Análisis de Componentes Principales (ACP, Johnson y Wichern, 2002). Después se realizó un MANOVA con 9,999 permutaciones basado en la distancia euclideana, para determinar diferencias entre los tratamientos (Anderson, 2001). Para las mismas variables, se decidió obtener la correlación de Pearson para complementar la información sobre la asociación entre descriptores. Posteriormente, los datos de conteo y diámetro de ovocitos, estado de maduración, peso, talla y K Fulton, fueron analizados por medio de una prueba de T de Student para poblaciones independientes (Seltman, 2018). Los datos fueron reportados en medias  $\pm$  desviación estándar (DE) y las diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos cuando  $p < 0.05$ . Para los datos de indicadores corporales de bienestar animal, fue utilizada la metodología utilizada por Flores *et al.* (2022), identificando los indicadores de integridad corporal como eventos y los tratamientos como factores de riesgo. Se utilizaron los paquetes estadísticos PAST 4.13 y Statgraphics 18.

## IX. RESULTADOS

El análisis de los datos del ambiente lumínico (luxes) en los estanques experimentales mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p=0.0046$ ) y se pueden observar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Ambiente lumínico en los estanques experimentales con luz natural (LN) y con luz combinada (LC) (luxes).

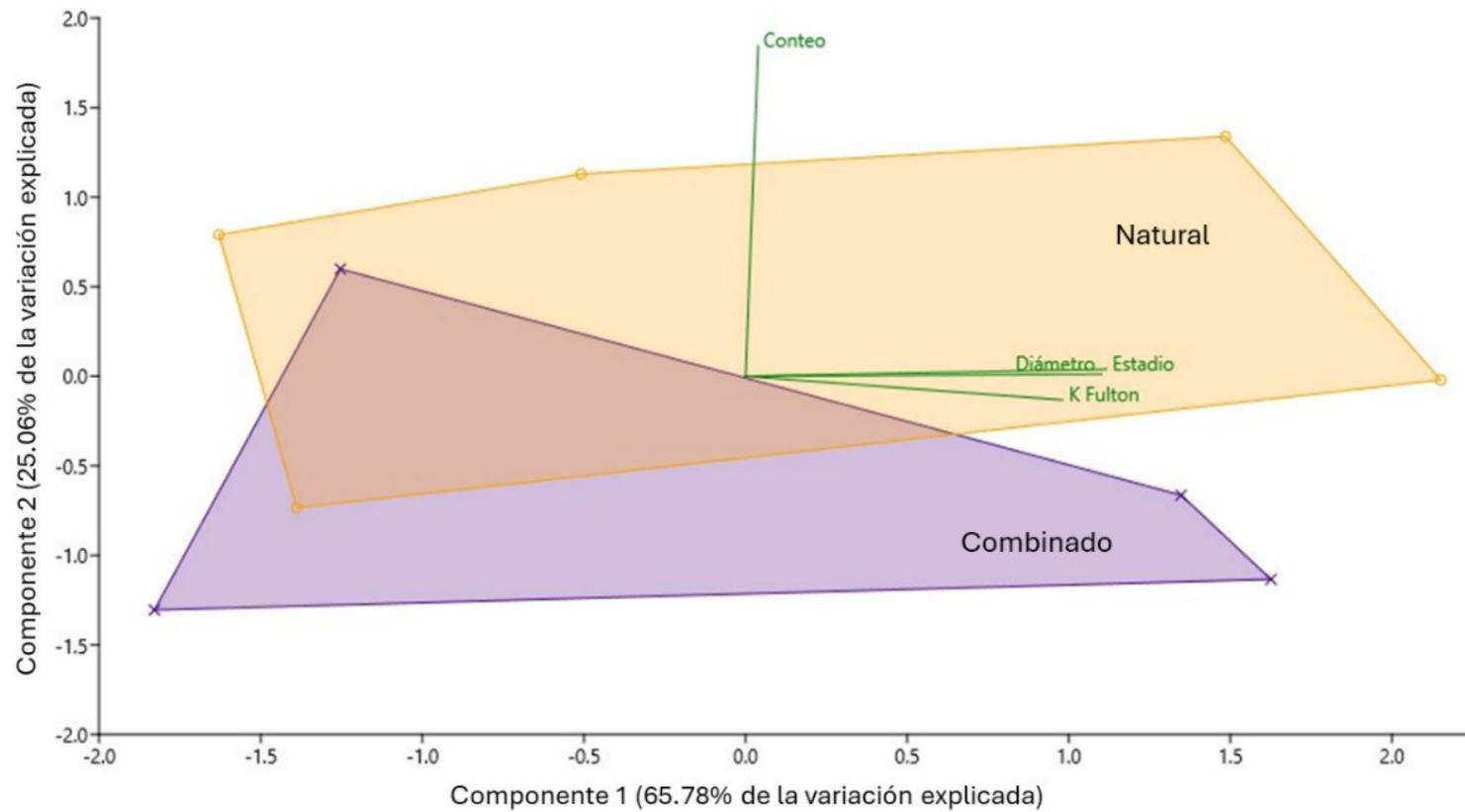
Tratamiento	Promedio	DE	% CV	Mínimo	Máximo
L C	1,660.25	129.96	7.83	1,500	1,766
L N	1,941.40	27.93	1.44	1,921	1,972

Los datos de conteo y maduración de ovocitos (diámetro), así como, de condición corporal (K Fulton), presentaron normalidad (sesgo  $p=0.9823$  y curtosis  $p=0.0518$ ). En el análisis de ordenación de componentes principales, se observó que las variables diámetro de ovocitos y condición corporal (K de Fulton), fueron las que mostraron mayor peso (0.7072 y 0.7069, respectivamente) (Tabla 4), y los dos primeros componentes explicaron el 90.85% del total de la varianza.

**Tabla 4.** Análisis de componentes principales (ACP)

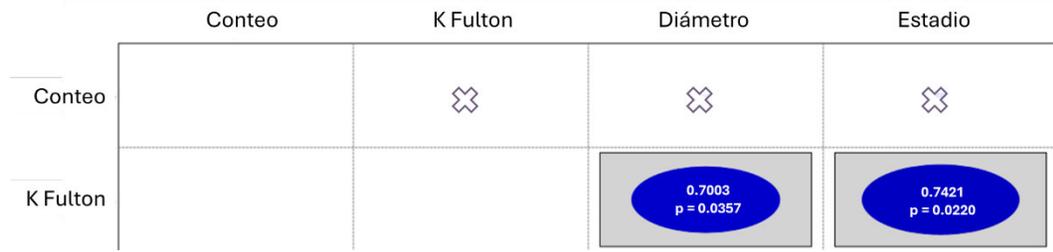
Componente (CP)	Eigenvalor	% varianza	% varianza acumulada	Peso del componente		
				Variable	CP 1	CP 2
1	2.63142	65.786	65.786	Conteo	0.021239	0.99721
2	1.00264	25.066	90.852	K Fulton	0.52986	-0.0712
3	0.360701	9.0175	99.869	Diámetro	0.59519	0.00622
4	0.005233	0.13083	100	Estadio	0.60378	0.02133

La ordenación del primer componente (horizontal), no mostró separación entre los tratamientos (Figura 10). Las variables que más aportaron a la ordenación en este eje fueron estadio, diámetro de ovocitos y K de Fulton. La ordenación del segundo componente (vertical), mostró una ligera separación entre los tratamientos, y la variable conteo de ovocitos fue la de mayor contribución.



**Figura 10.** Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables conteo, diámetro de ovocitos, estadio y condición corporal (K Fulton) de hembras reproductoras de *Centropomus undecimalis* cultivados en estanques con (combinado) y sin cobertura parcial (natural).

El análisis de PERMANOVA indica que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p=0.5133$ ). Sin embargo, si se observaron fuertes y positivas relaciones entre las variables K de Fulton y diámetro de ovocitos ( $0.7003$ ,  $p=0.0357$ ) y, entre K de Fulton y estadio ( $0.7421$ ,  $p=0.0220$ ) (Figura 11). Por lo cual, se procedió a realizar análisis de las variables de forma independiente, los cuales, pueden observarse en la Tabla 4.



**Figura 11.** Correlaciones de Pearson entre las variables de estudio. X: no significativo.

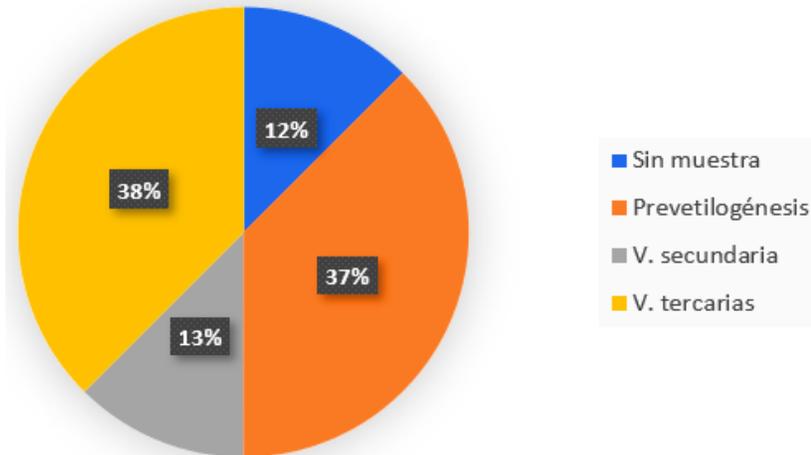
**Tabla 4.** Variables evaluadas en el estudio.

Variable	Ambiente lumínico		T Student p valor
	Combinado	Natural	
Conteo de ovocitos, no. células x $\mu\text{L}$	$49.75 \pm 16.4$	$73.33 \pm 15.8$	<b>0.0471</b>
Peso, g	$5,461.71 \pm 844.09$	$4,895.86 \pm 816.76$	ns
Talla, cm	$90.71 \pm 4.28$	$87.07 \pm 4.46$	ns
K Fulton	$0.73 \pm 0.05$	$0.74 \pm 0.06$	ns

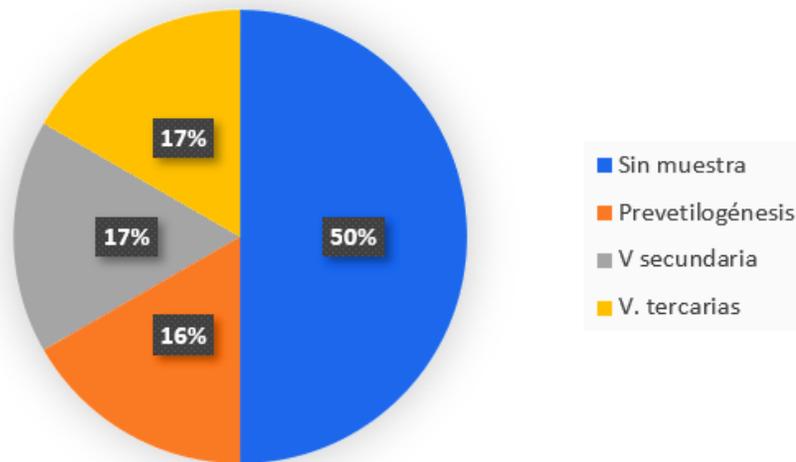
Medias  $\pm$  DE.

El estado de madurez fue determinado a través del diámetro de los ovocitos de acuerdo con Gómez (2002). Los resultados obtenidos indican que el 35 % de las hembras del tratamiento con luz natural (es decir 3 de 8 hembras) se encontraron en estado de vitelogénesis terciario, mientras que en el grupo de hembras del tratamiento de luz combinada fue del 17% (es decir 1 de 7 hembras). El estado de vitelogénesis secundaria fue similar entre los tratamientos, 13 y 17%, mientras que el porcentaje de hembras a las cuales no se les pudo obtener muestra de ovocitos fue del 12 % (es decir 1 de 7 hembras) en el grupo de hembras del tratamiento de LN, a comparación del 50 % (es decir 3 de 7 hembras) de las hembras expuestas a LC (Figura 12).

a) Madurez de los ovocitos, tratamiento Luz Natural



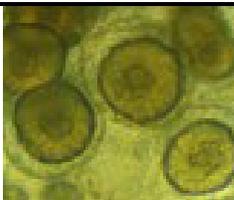
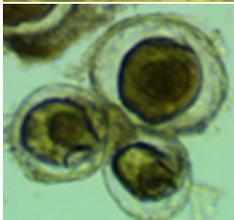
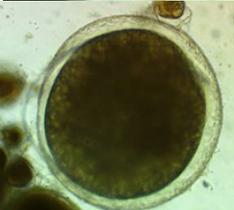
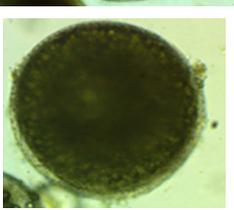
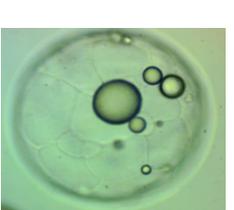
b) Marurez de los ovocitos, tratamiento Luz Combinada



**Figura 12.** Estado de madurez de las hembras de *Centropomus undecimalis* mantenidas en un ambiente lumínico de luz natural (a) y de luz combinada (b), a partir del diámetro de los ovocitos preparados en fresco de acuerdo con Gómez (2002).

Se integraron los resultados de medición del diámetro de los ovocitos y los registros fotográficos de las muestras preparadas en fresco, para realizar una descripción morfológica de los ovocitos obtenidos en las hembras de *C. undecimalis* del presente estudio (Tabla 5).

**Tabla 5.** Descripción morfológica de ovocitos (en fresco), y su estado de madurez de hembras de *C. undecimalis*.

Estadio de madurez	Diámetros de ovocitos en fresco	Ovocitos en fresco
Perinucleólo	Ovocitos translucidos. Diámetros < 118 $\mu\text{m}$ Núcleo grande visible	 98 $\mu\text{m}$
Alveolo cortical	Ovocitos ligeramente translucidos Diámetro < 200 $\mu\text{m}$ Núcleo visible	 150 $\mu\text{m}$
Vitelogénesis primaria	Folículos translucido y núcleo central visible. Diámetro de 121-282 $\mu\text{m}$ , con una media de 171 $\mu\text{m}$ .	 190 $\mu\text{m}$
Vitelogénesis secundaria	Folículos translucidos con apariencia granulosa. Diámetro de 292-353 $\mu\text{m}$ , con una media de 257 $\mu\text{m}$ .	 250 $\mu\text{m}$
Vitelogénesis terciaria	Folículos opacos con apariencia ligeramente granulosa. Diámetro 353-474 $\mu\text{m}$ . con una media de 396 $\mu\text{m}$ .	 320 $\mu\text{m}$
Maduración final	Ligeramente granuloso, el núcleo se va haciendo visible, presencia ligera de gota lipídica. Diámetro de 434-565 $\mu\text{m}$ con una media de 486 $\mu\text{m}$ .	 450 $\mu\text{m}$
Ovulación (hidratación)	Citoplasma ligeramente opaco, se observa a la perfección la gota lipídica. Diámetro de 550-800 $\mu\text{m}$ .	 750 $\mu\text{m}$

Para los datos de indicadores corporales de bienestar animal, fue utilizada la metodología desarrollada por Flores et al. (2022). Se realizaron los cálculos de incidencia y riesgo relativo, identificando los indicadores de integridad corporal como eventos y los tratamientos como factores de riesgo, usando herramientas y un enfoque epidemiológico, indicadores de integridad corporal, no se observaron relaciones estadísticas significativas entre éstos y los tratamientos (Tabla 6).

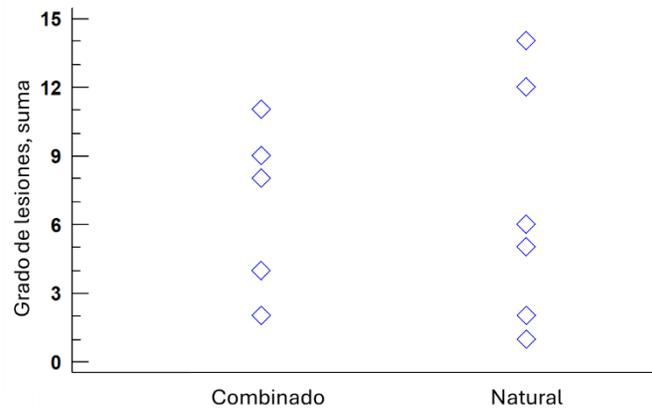
**Tabla 6.** Tabla de contingencia de la incidencia de indicadores corporales de bienestar en hembras reproductoras de *C. undecimalis* en cautiverio de acuerdo con el ambiente lumínico.

Registros				Análisis epidemiológico				
Tx	n Tx	nO	(%)	% I Tx	% I	RR	(IC 95%)	p valor
		Total, n = 14 (100%)						
<b>Casos con daño corporal*</b>								
LC	7	1	(7.14)	14.29	28.57	0.50	(0.05 – 4.33)	ns
LN	7	2	(14.29)	28.57	14.29	2.00	(0.23 – 17.33)	ns
<b>Casos con daño en boca</b>								
LC	7	1	(7.14)	14.29	14.29	1.00	(0.07 – 13.0)	ns
LN	7	1	(7.14)	14.29	14.29	1.00	(0.07 – 13.0)	ns
<b>Casos con daño en branquias</b>								
LC	7	0	(0.0)					
LN	7	0	(0.0)					
<b>Casos con daño en aleta pectoral</b>								
LC	7	4	(28.57)	57.14	85.71	0.66	(0.32 – 1.35)	ns
LN	7	6	(42.86)	85.71	57.14	1.50	(0.73 – 3.04)	ns
<b>Casos con daño en aleta espinosa dorsal</b>								
LC	7	2	(14.29)					
LN	7	0	(0.0)					
<b>Casos con daño en aleta suave dorsal</b>								
LC	7	1	(7.14)	14.29	14.29	1.00	(0.07 – 13.0)	ns
LN	7	1	(7.14)	14.29	14.29	1.00	(0.07 – 13.0)	ns
<b>Casos de daño en aleta pélvica</b>								
LC	7	3	(21.43)	42.86	42.86	1.00	(0.29 – 3.35)	ns
LN	7	3	(21.43)	42.86	42.86	1.00	(0.29 – 3.35)	ns
<b>Casos de daño en aleta anal</b>								
LC	7	5	(35.71)	71.43	57.14	1.25	(0.56 – 2.76)	ns
LN	7	4	(28.57)	57.14	71.43	0.80	(0.36 – 1.77)	ns
<b>Casos de daño en aleta caudal</b>								
LC	7	3	(21.43)					
LN	7	0	(0.0)					
<b>Casos de daño en poro genital</b>								
LC	7	2	(14.29)	28.57	57.14	0.50	(0.13 – 1.90)	ns
LN	7	4	(28.57)	57.14	28.57	2.00	(0.52 – 7.60)	ns

\*Casos con lesión corporal: Se identifican los casos positivos cuando algún animal presenta lesiones en el cuerpo (no se toman en cuenta las aletas). Tx: tratamiento; n Tx: no. de peces por tratamiento; nO: no. de peces observados que presentaron el evento (casos); %: proporción de individuos que presentaron el evento (casos) en relación con el total n; p valor calculado a partir de las medias de  $X^2$ ; I Tx: incidencia de la variable correspondiente a cada sección de acuerdo con el tratamiento, calculada =  $(nO / nTx) * 100$ ; I: incidencia de la misma variable en el resto de los individuos, calculada =  $(\sum nO \text{ de los otros tratamientos} / \sum nTx \text{ de los otros tratamientos}) * 100$ ; RR: riesgo relativo, calculado

= % I Tx / % I; IC: intervalos de confianza (95%). Tratamientos: LC: Luz combinada; LN: luz natural.

Al momento de sumar la calificación obtenida de cada animal, de acuerdo con su grado de daño, en las diversas partes del cuerpo (Figura 7), no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Sin embargo, al realizar la sumatoria por tratamiento, se observa una ligera diferencia al momento de describir los datos, y se muestra un 12.5% más de daño, en cuanto al grado de afectación de las lesiones observadas (Figura 14), además, se observa una mayor dispersión de los datos en el tratamiento con ambiente lumínico natural (Figura 13).



**Figura 13.** Dispersión de datos observados (suma por pez), de los indicadores corporales de bienestar en hembras de robalo acorde al grado de lesión observado.

Los parámetros fisicoquímicos del agua indicaron una oxigenación de  $9.77 \pm 4.3$  (mg/L de OD), una temperatura de  $28.8 \pm 1.62$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) y una salinidad de  $37.80 \pm 1.53$  (ppm).

Tratamiento	Integridad corporal	Boca	Branquias	Aleta pectoral	Aleta espinosa dorsal	Aleta suave dorsal	Aleta pélvica	Aleta anal	Aleta caudal	Poros genitales	Suma por pez	Suma por Tx
O	3	0		1	0	0	1	3	3	3	14	
O	0	0	0	2	2	0	1	1	0	0	6	
O	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3	5	
O	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
O	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	
O	0	2	0	0	0	0	1	1	1	0	5	
O	0	0	0	0	3	0	3	3	0	3	12	45
Θ	3	0	0	2	0	0	3	0	0	3	11	
Θ	0	0	0	2	0	0	0		0	0	2	
Θ	0	3	0	2	0	0	0	3	0	0	8	
Θ	3	0		0	0	1	3	1	0	1	9	
Θ	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	4	
Θ	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	4	
Θ	0	0		1	0	0	0	1	0	0	2	40
O	Ambiente lumínico Natural			<b>Integridad corporal</b>			<b>Grado de daño en aletas</b>					
Θ	Ambiente lumínico Combinado			0	Bien		0	Bien				
	Sin fotografía (sin dato)			1	Raspado		1	1-50% de daño				
				2	Herida		2	51-100% de daño				
				3	Con hemorragia		3	Con hemorragia				

**Figura 14.** Indicadores corporales de bienestar individual en hembras de Robalo (Flores *et al.*, 2022), acorde al grado de lesión observado (Cañon, 2012).

## DISCUSIÓN

Los resultados señalan la importancia del ambiente lumínico en la maduración gonadal de hembras de robalo blanco mantenidas en cautiverio. Esta capacidad que tiene el efecto luz para alterar el ciclo reproductivo hace que el manejo ambiental sea una herramienta de importancia en la acuicultura para la sincronización de la maduración sexual, con el fin de controlar la reproducción de teleósteos. Dicha exposición favorece a la liberación de hormonas reproductivas para un óptimo desarrollo gonadal y, por ende, en la calidad de los ovocitos (Flores *et al.*, 2014). Sin embargo, es importante señalar que, existen inconsistencias encontradas en la literatura, en donde en algunas especies señalan un incremento en el crecimiento y desarrollo bajo a la exposición constante de luz, mientras que en otras especies no muestran cambios importantes (Cuadrado *et al.*, 2016). Estas diferencias pueden ser relacionadas con la especie de estudio, las condiciones específicas del ambiente o por la metodología utilizada para su observación y análisis. Por lo que, surge la necesidad de seguir investigando para completar la información y sus posibles implicaciones en la acuicultura.

Por otro lado, la literatura consultada destaca la relevancia de la luminosidad en una producción acuícola, ya que una luz constante puede llegar a tener efectos negativos, los cuales, se reflejan en un desarrollo gonadal anormal o en un retraso en la maduración en algunas especies de teleósteos (Martínez *et al.*, 2023; Ma *et al.*, 2023). Dicha información enfatiza la importancia de exponer a los animales a la cantidad de luz necesaria para no interferir con la reproducción. En relación con los resultados del presente estudio, aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los ambientes lumínicos, la luz combinada (25 % de luz natural más luz LED blanca) sobre el estanque, afecta el número de ovocitos, ya que se observó mayor cantidad de células en las hembras que estuvieron con luz natural. Las alteraciones ambientales que pueden presentarse en cautiverio y a las que están sujetas los animales en cultivo, pueden ser diferentes a las condiciones del medio natural (Maldonado, 2004), ya que la reproducción en peces está bajo control neuroendocrino y bajo influencia directa de los diversos factores ambientales, como la luz (Jamienson, 2009), lo que podría afectar también el número de células presentes en una determinada muestra.

En ciertas especies de peces teleósteos mantenidos en cautiverio, especialmente, cuando las condiciones de cultivo no son óptimas, a pesar de que el proceso vitelogénico puede desarrollarse por completo, no se presenta la maduración y ovulación del ovocito. Además, se puede presentar "atresia ovocitaria", que se caracteriza por la degeneración y

reabsorción de los ovocitos (Maldonado, 2004), lo que podría también estarse presentado en los peces del presente estudio. A pesar de lo antes mencionado, los resultados en algunas literaturas muestran inconsistencias, ya que en algunos casos se señala un incremento en el crecimiento y desarrollo bajo condiciones de luz constante, mientras que en otros reportes no se observan diferencias significativas (Cuadrado *et al.*, 2016).

En cuanto al diámetro de los ovocitos, se han reportado medidas de 341 a 645  $\mu\text{m}$  (Maldonado, 2004), de  $369 \pm 48 \mu\text{m}$  (Kiewek, 2009) y mayor a 300  $\mu\text{m}$  (Piña, 2015; Gómez, 2002), para considerar que una hembra de *C. undecimalis* está madura. En el presente estudio, las muestras de ovocitos se obtuvieron por canulación (sin provocar muerte a las hembras), a través de preparaciones en fresco, lo que es una ventaja, ya que es posible tener material genético sin comprometer a los animales. Los resultados obtenidos en este trabajo señalan que las hembras expuestas a LN presentaron un mayor porcentaje de individuos en maduración, al encontrarse un 38 % en vitelogénesis terciaria a comparación del 17 % en el grupo de las hembras del tratamiento mantenidas con LC. La inducción al desove con tratamiento hormonal en esta especie se realiza en vitelogénesis terciaria para favorecer el desove (Gómez, 2002), lo cual, representa una oportunidad para incentivar el éxito reproductivo en cautiverio. En el presente estudio, se indujo hormonalmente a una hembra en vitelogénesis terciaria de cada tratamiento. En la hembra del tratamiento expuesto a LN se obtuvo el desove, con ovocitos mayores a 750  $\mu\text{m}$ , mientras que la hembra del tratamiento expuesta a la LC no avanzó en la maduración de los ovocitos. Se requiere profundizar en el efecto de la luz sobre la maduración de las hembras como para proponer un tratamiento lumínico óptimo para la especie, sin embargo, los resultados obtenidos en el presente trabajo señala que la producción de los ovocitos y la maduración de las hembras fue mejor en el tratamiento de LN.

El manejo de los reproductores en la industria acuícola busca favorecer la maduración de los organismos que conforman el banco de reproductores para garantizar la producción de alevines. En el presente trabajo, se inició el experimento con 3 hembras con muestra de ovocitos en cada tratamiento (consideradas en proceso de maduración). Al cierre del experimento, las hembras con muestra de ovocitos aumentaron de 3 a 7 en el tratamiento de LN, mientras el grupo de hembras expuestas a LC aumentó de 3 a 4. El grupo de hembras expuestas a LN presentaron un mayor número de hembras en proceso de maduración, una producción de ovocitos significativamente mayor, y una hembra que logró desovar,

señalando resultados más favorables para el manejo en cautiverio. Hace falta evaluar el efecto del ambiente lumínico en la maduración y producción de semen de los machos de *C. undecimalis* con el objetivo de proponer alternativas para su reproducción en condiciones controladas.

Con respecto a los indicadores de bienestar animal, estos están relacionados con la adaptación del individuo a los cambios naturales del entorno, que incluyen salud, confort y estado emocional (David, 2019). En el análisis epidemiológico, se observó que no existen relaciones estadísticas significativas entre los indicadores de integridad corporal y los tratamientos, coincidiendo con los hallazgos de Cañon (2012) y David (2019). Sin embargo, al sumar las calificaciones de daño por tratamiento, se identificó un 12.5% más de daño en el grupo con ambiente lumínico natural, la mayor dispersión de datos, respaldada por estudios como los de Flores *et al.* (2014), sugiere una variabilidad considerable en las respuestas individuales de los animales a estas condiciones. Esta observación, destaca la importancia de considerar la variabilidad individual al evaluar los indicadores de integridad corporal. Una posible respuesta a la presencia de las lesiones en los animales es que están muy expuestos, ya que esta especie suelen localizarse entre los 10 y 26 metros de profundidad y en ambientes estuarinos (Chávez, 2011), donde hay cobertura vegetal, por lo cual, la incidencia de luz total en el tratamiento de LN pudiera representar un exceso de estímulos. El invernadero en donde fue realizado el experimento tiene un techo de lona, que quizá hace que los organismos estén demasiado expuestos por lo que se podría incluir una capa extra para disminuir los efectos nocivos del ambiente.

Los datos obtenidos, indican la importancia de considerar las características de luz para los procesos de maduración y los indicadores corporales de bienestar en los peces. Estos resultados señalan la necesidad de una atención detallada a las condiciones lumínicas, y de factores como la calidad del agua y la densidad poblacional en la acuicultura (David, 2019). La asociación entre la integridad corporal y el ambiente lumínico natural subraya la importancia de desarrollar prácticas más éticas y efectivas en la producción intensiva, respaldando la necesidad de investigaciones adicionales (Cañon, 2012), ya que se desconoce cómo podrían estar interactuando los diversos factores ambientales. Este estudio aborda las complejidades del bienestar animal, destacando la importancia de considerar no solo las diferencias promedio, sino también la variabilidad individual en la evaluación del impacto de las condiciones lumínicas en la acuicultura.

## X. CONCLUSIONES

- El ambiente lumínico tiene un impacto directo en la maduración ovocitaria y los indicadores corporales de bienestar en las hembras de robalo blanco *Centropomus undecimalis*.
- La exposición de luz natural favorece a la sincronización de la maduración sexual, teniendo una influencia positiva en la liberación de hormonas reproductivas y mejorando la calidad de los ovocitos.
- Los resultados sugieren que la luz constante, especialmente la luz combinada, puede tener beneficios para la reproducción de hembras de *Centropomus undecimalis*.
- En relación con la producción de ovocitos, se observa que las hembras expuestas a luz natural presentan una mayor cantidad de células en comparación con las del grupo de luz combinada.
- Es necesario investigaciones adicionales para comprender en su totalidad los efectos lumínicos en la reproducción de esta especie, dadas las variabilidades individuales y para evaluarlas en los machos reproductores.
- En el análisis de indicadores corporales de bienestar, se puede observar un 12.5% más de daño en el grupo con ambiente lumínico natural por individuo.
- La asociación de integridad corporal y el ambiente lumínico resulta la importancia de evaluar la integridad corporal por organismo.
- No es necesario provocar la muerte de los organismos para determinar madurez sexual, lo cual, representa un avance significativo en términos éticos y sienta las bases para futuros estudios, garantizando la integridad y preservación de los ejemplares.

## XI. REFERENCIAS

- Aragón-Flores, E. A., Martínez-Cárdenas, L., & Valdez-Hernández, E. F. (2014). Efecto del fotoperiodo en peces de consumo cultivados en distintos tipos de sistemas experimentales. Editorial Uan.edu. BIOCENCIAS <https://dx.doi.org/10.15741/revbio.030103>
- Bœuf, G., & Bail, P. L. (1999). Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, 177(1-4), 129-152. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(99\)00074-5](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(99)00074-5)
- Cai, H., Zhang, Y., Xiong, Y., Liu, Y., Sun, F., Zhou, Q., Wu, Y., Ma, H., & Sun, Y. (2023). Preference of juvenile tiger puffer for light spectrum and tank colours based on different body size and breeding background. *Animal*, 17(12), 101021. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101021>
- Cañon Jones, H. A. (2012). Bienestar en peces y daño en aleta dorsal. Department of Veterinary Medicine, University of Cambridge *United Kingdom; Instituto de Fomento Pesquero, Chile.*
- Carrillo, E. (2009) *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura.* Publicaciones científicas y tecnológicas de la fundación observatorio español de acuicultura. Editorial Parafino. DiScript Preimpresión, S. L.
- Chasqui Velazco, L., Polanco F., A., Acero P., A., A. Mejía-Falla, P., Paola A., Mejía-Falla, P. A., Navia, A., Zapata, L. A., & Caldas, J. P. (2017). Libro Rojo de los peces marinos [Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Invemar, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.]. Serie de Publicaciones Generales de INVEMAR # 93. Santa Marta, Colombia. 552 p.
- Chávez, V. C. (2003). *Estudio Biológico pesquero del Robalo centropomus undecimalis en el suroeste de campeche.* [Tesis Maestría en ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México] México, D.F.
- Chávez, V. C. (2011) *Reproducción y fecundidad del robalo blanco (Centropomus undecimalis) en el suroeste de Campeche.* Revista Ciencia Pesquera. Vol. 19, pag 35-45
- Cuadrado, É. E. H., Murgas, L. D. S., & De Jesús Buitrago Cardozo, M. (2016). Fotoperiodo y Ontogenia Inicial de Peces Migratorios en Brasil con Énfasis en Sábalo (*Prochilodus lineatus*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(1), 1. <https://doi.org/10.15381/rivep.v27i1.11462>
- David, L., & Luciana, L. (2019). Evaluación temporal de indicadores de bienestar animal en infecciones naturales con *Piscirickettsia salmonis* en salmón de Atlántico.
- Evans D., Claiborne J., Currie S. (2014) *The Physiology of Fishes*. Fourth Edition. Marine Biology Series.
- Flores-García, L., Camargo-Castellanos, J. C., Pascual-Jiménez, C., Almazán-Rueda, P., Monroy-López, J. F., Albertos-Alpuche, P. J., & Martínez-Yañez, R. (2022). Welfare Indicators in Tilapia: An Epidemiological Approach. *Frontiers In Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.882567>
- Freund, J.E. (2004). Estadística Matemática con Aplicaciones. Ed. Pearson Educación.
- Gassman, J., Lopez R., Padón D. (2016) *Reproducción de los róbalo Centropomus undecimalis y C. ensiferus (Perciformes: Centropomidae) en una laguna costera tropical.* Revista de Biología tropical. Vol. 65, pag 181-194.
- Gómez Duran Díaz, L. M. (2002). Inducción a la maduración y desove del robalo blanco *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792): (pisces:centropomidae) mediante la aplicación de gonadotropina coriónica humana y una analoga de la hormona liberadora de la hormona luteinizante [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* (2nd ed.). Springer. (Capítulo 3.3 - "Dimension Reduction Methods")
- Hou, Z., Wen, H., Li, J., He, F., Li, Y., Qi, X., Zhao, J., Zhang, K., & Tao, Y. (2019). Effects of photoperiod and light Spectrum on growth performance, digestive enzymes, hepatic biochemistry and peripheral hormones in spotted sea bass (*Lateolabrax maculatus*). *Aquaculture*, 507, 419-427. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.029>

- Jaime Suárez, Cristina Pascual, Rosario Martínez, Pedro Albertos, Pedro Gallardo, Ariadna Sánchez, Ericka Escalante, Sofía Fraustro, Kennya Márquez (2023) Anesthesia protocol for the management of common snook breeders: hematologic and ethological indicators. World Aquaculture Society, Latin American and Caribbean Chapter. LACQUA. Panama City
- Jamienson B. (2009) *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes)*. Editorial enquiries. Science Publishers. United States of America.
- Johnson, R., & Wichern, D. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (Fifth edition). Pearson Education International.
- Liu, Q., Manning, A. J., & Duston, J. (2019). Light intensity and suppression of nocturnal plasma melatonin in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 228, 103-106. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.11.012>
- Maldonado, G. (2004) *Estudio de la biología reproductiva del robalo paleta Centropomus medius (Günther 1864) para su aplicación en la acuicultura*. [Tesis Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB)]. La Paz.
- Martínez-Chávez, C. C., Navarrete-Ramírez, P., Parke, D. V., & Migaud, H. (2021). Effects of continuous light and light intensity on the growth performance and gonadal development of Nile tilapia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50. <https://doi.org/10.37496/rbz5020180275>
- Oppedal, F., Taranger, G. L., Juell, J., Fosseidengen, J. E., & Hansen, T. (1997). Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. *Aquatic Living Resources*, 10(6), 351-357. <https://doi.org/10.1051/alr:1997038>
- Perera, G., Mendoza, G., Páramo D (2008) *Dinámica reproductiva y poblacional del robalo, centropomus undecimalis (perciformes: centropomidae), en Barra San Pedro, Centla, México*. División Académica Multidisciplinaria de los Ríos. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Artículo Universidad y Ciencia. Tópico Humedo.
- Piña G. (2015). Manual para la producción de robalo blanco: (*Centropomus undecimalis*) en cautiverio. <https://doi.org/10.19136/book.76>
- Seltman, H. (2018). *Experimental Design and Analysis* (1st ed., Vol. 1).
- Shin, H. S., Habibi, H. R., & Choi, C. Y. (2014). The environmental regulation of maturation in goldfish, *Carassius auratus*: Effects of various LED light spectra. *Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 168, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.11.003>
- Shin, H. S., Kim, N. N., Choi, Y. J., Habibi, H. R., Kim, J. W., & Choi, C. Y. (2013). Light-emitting diode spectral sensitivity relationship with reproductive parameters and ovarian maturation in yellowtail damselfish, *Chrysiptera parasema*. *Journal Of Photochemistry And Photobiology B: Biology*, 127, 108-113. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.07.026>
- Varela, R. J. T., Salgado, D. S. P., Romero-Bañuelos, C. A., Bernés, S. R., Padilla-Noriega, R., & Navarro, J. T. N. (2020). Length-weight relationship and condition factor of *Centropomus viridis* (Actinopterygii: Perciformes: Centropomidae) in the north coast of Nayarit. *Acta Universitaria*, 30, 1-7. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2123>
- Young, J., Yeiser, B. G., Whittington, J. A., & Dutka-Gianelli, J. (2020). Maturation of female common snook *Centropomus undecimalis*: implications for managing protandrous fishes. *Journal Of Fish Biology*, 97(5), 1317-1331. <https://doi.org/10.1111/jfb.14475>