



Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

---

Policultivo de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*:  
Rafinesque, 1818) y tilapia (*Oreochromis niloticus*  
var. Stirling: Stirling, 1986) en una unidad de  
producción piscícola semiintensiva

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
B I Ó L O G O  
P R E S E N T A:

DAVID EDUARDO HUERTA BALTAZAR



FES  
ZARAGOZA

DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. Justo Salvador Hernández Avilés

Ciudad de México, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



# Dedicatoria

A MIS PADRES, que me ayudaron, apoyaron, regañaron y motivaron a concluir este proyecto. Que se ponían felices cada vez que se enteraban como avanzaba durante los años que retomaba y pausaba; gracias por ser motivación y por enseñarme lo que es trabajar y la importancia de todo lo bueno que sé ahora. Pablo y Justina, gracias en verdad por ser mi pilar, darme apoyo y amor, no tienen idea de lo agradecido y orgulloso que estoy por ustedes. Los amo.

A MIS HERMANOS, que me molestaban y me hacían reír, por las veces que me decían que me apurara en acabar esto. Espero que sea un motivo suficiente para que no se rindan en los proyectos que están realizando y en los futuros, porque siempre hemos sido los tres contra todos y espero nunca cambie eso. Omar y Lulú, tan raros y tan únicos, los mejores hermanos que no podría merecer. Gracias, están en mi corazón. Los amo, aunque prefiera demostrárselos a base de maldades, memes y chistes malos.

# Agradecimientos institucionales

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, que ha sido mi casa de estudios desde hace 12 años y sé que el camino continúa. Gracias por darme educación y experiencias con los amigos que encontré aquí.

A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA, por brindarme la oportunidad de concluir mis estudios de licenciatura.

A LA ASOCIACIÓN MATEO QUINTO A.C., por brindarme la oportunidad de realizar el presente proyecto en sus instalaciones, así como apoyar a los proyectos que han planteado mis compañeros; agradeciendo la labor que hacen y el no rendirse. Gracias a los colaboradores y a las personas que ahí viven, con quienes tuve la suerte de convivir, comer, reír, trabajar y escuchar sus historias.

A MI ASESOR, el doctor Salvador, en serio no tengo palabras para agradecerle lo que ha hecho por mí, desde las clases que me impartió en la carrera, cuando me aceptó en su laboratorio con un proyecto que fue tomando forma, descartando ideas y creando nuevas, hasta llegar al resultado presente. Con su experiencia, consejos y paciencia, me apoyo en todo momento y me alentó a concluir. De verdad, gracias.

A CARMEN SANTIAGO, con un saludo hasta Mazatlán, gracias por ayudarme en la realización de este proyecto, por brindarme apoyo el tiempo que estuve allá, así como darme acceso a los peces y contarme su experiencia, dándome ánimos para crear la mejor versión de mi como biólogo. Estoy en deuda con usted.

A MIS SINODALES, Dra. Eloisa Adriana Guerra Hernández, Dr. José Luis Gómez Márquez, Dr. Guillermo Artemio Blancas Arroyo y Biól. José Luis Guzmán Santiago, que me dieron lecciones y consejos para mejorar el presente proyecto, con su saber y experiencia en el ámbito me apoyaron señalando áreas de oportunidad y estando siempre en la mejor disposición para aclarar mis dudas.

AL LABORATORIO DE LIMNOECOLOGIA, que me ayudó durante este proyecto con experiencia, investigación y motivación, apoyándome en campo y en el trabajo de laboratorio.

# Agradecimientos personales

A FERNANDA, ISMAEL, XOCHITL SEBASTIAN y JENNY, gracias por ser mis mejores amigos durante la prepa y la universidad, sin ustedes la escuela no hubiera sido la misma, sin tantas risas, lágrimas, cariño y experiencias que atesoro y llevo en mi corazón. Hasta el fin.

A MIS AMIGOS, que me acompañaron durante las salidas a campo y las escapadas de la escuela, a los que conocí desde la prepa y deben saber lo orgulloso que estoy de ver cómo han crecido, en ya 12 años de amistad: Mariana, Lazos, Diana, Rodrigo y Omar. A los de la universidad, que espero no se detengan y continúen el camino que van formando académica y laboralmente: Alecito, Vicky, Cadena, Ximena y Marlen, espero se sientan felices por lo que estoy logrando, así como yo lo estoy por ustedes. Stuart, Alberto, Fabián, Virginia, César, Diego, Kukii, Carlos, Jafet, Lesly, Alan, Moisés, Melisa, Alejandra, Vianey, Saúl, Viri y Miguel. A todos ustedes y los que me faltaron, pero sin duda los quiero.

A CHAVITA, doctor, usted me guió y apoyo en todo momento, gracias por esperarme. Académicos como usted, con esa atención y manera de enseñar, es lo que necesitamos y soy tan afortunado de ver en usted un asesor, profesor y amigo.

A MI FAMILIA, la que está y la que se adelantó, gracias por apoyarme en cada momento de mi vida, por alegrarse en cada paso que daba; aunque me gustaría que toda estuviera reunida hoy conmigo, aún regados por toda la república y en el cielo están en mi corazón.

# Resumen

El máximo aprovechamiento de espacios para la producción acuícola representa una ventaja en la cosecha y propuesta de alimento al mercado, por ello es recomendable el uso de especies que convivan de manera en que el entorno y la disponibilidad del alimento no sean una limitante para el desarrollo de estas. El manejo de policultivos ha demostrado que el uso de especies afines resulta en una exitosa cosecha y reducción de gastos. La tilapia nilotica y el bagre de canal son dos especies con rangos permisibles de condiciones ambientales similares, así como hábitos conductuales que no afectan el desarrollo de estas si están compartiendo un espacio. Para determinar el desarrollo de estas especies en conjunto se realizó un cultivo en la Asociación Civil “Mateo Quinto” del mes de septiembre del 2017 a julio del 2018. Se utilizó un estanque circular con en un área de 100.52 m<sup>2</sup>, así como otro estanque con las mismas características, pero condicionado a manera de invernadero para el uso de el en épocas frías y el des-doblaje de los organismos conforme se presente el aumento de tallas. Se sembraron 500 organismos de bagre de canal y 300 organismos de tilapia, suministrándole alimento con 35% de proteína y teniendo alimento natural disponible en el estanque a causa de fertilización orgánica realizada. Con pesos promedio inicial de 7.7 gramos para el bagre y 3.07 gramos para la tilapia se cosecharon organismos con promedio final de 196 gramos y 325 gramos respectivamente después de 10 de meses de cultivo. La tilapia superó el nivel comercial aceptable (250 gramos) mientras que el bagre quedó en promedio bajo el valor (200 gramos); sin embargo, se presentaron organismos superiores a este; la mortalidad presente en el caso del bagre se mostró elevada con un 39.8% posiblemente al estrés causado en los organismos. Se registró un crecimiento alométrico positivo para el bagre ( $b = 3.1461$ ) y un crecimiento isométrico para la tilapia ( $b = 3.0441$ ). Para el factor de condición de Fulton se obtuvieron promedios de 0.665% para el bagre y 1.86% para la tilapia y el factor de condición relativo fue en promedio de 0.99 y 1.02 para cada especie respectivamente. Se obtuvo al finalizar el cultivo, una cosecha total de 21.2 kilogramos de carne de bagre de canal y 67.2 kilogramos de carne de tilapia mostrando así un rendimiento de 2.21 ton·ha<sup>-1</sup> y 6.72 ton·ha<sup>-1</sup> para cada especie, lo cual puede ser mejor aprovechado si se introduce el cultivo en la temporada cálida y tomando en cuenta una mejor manipulación de los organismos como el bagre de canal debido a su susceptibilidad al estrés.

# Índice

<b>Resumen</b>	<b>i</b>
<b>Índice</b>	<b>ii</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>iv</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	2
SISTEMAS SEMIINTENSIVOS	2
POLICULTIVO	3
GENERALIDADES DE LAS ESPECIES	5
BAGRE DE CANAL ( <i>ICTALURUS PUNCTATUS</i> : RAFINESQUE, 1818)	5
TILAPIA NILOTICA ( <i>OREOCHROMIS NILOTICUS</i> VAR. STIRLING: STIRLING, 1986)	7
<b>Planteamiento del problema</b>	<b>9</b>
<b>Hipótesis</b>	<b>9</b>
<b>Objetivos</b>	<b>10</b>
GENERAL	10
ESPECÍFICOS	10
<b>Método</b>	<b>11</b>
ZONA DE ESTUDIO	11
CLIMA	11
MATEO QUINTO A.C.	13
ESTANQUE Y SIEMBRA DE LOS ORGANISMOS	14
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	17
PARÁMETROS BIOLÓGICOS	17
TRABAJO DE GABINETE	19
<b>Resultados</b>	<b>23</b>
CALIDAD DE AGUA	23
NUTRIMENTOS	28
FITOPLANCTON	29
PRODUCTIVIDAD PRIMARIA	32
ZOOPLANCTON	34
CULTIVO DE PECES	37
RELACIÓN LONGITUD – PESO	38
CRECIMIENTO MENSUAL EN TALLA Y PESO	40
ÍNDICES DE CRECIMIENTO	48
TASA DE MORTALIDAD	48
FACTOR DE CONVERSIÓN ALIMENTICIA	48
TASA DE CRECIMIENTO DIARIO	49
TASA INSTANTÁNEA DE CRECIMIENTO	50
FACTOR DE CONDICIÓN	52
FACTOR DE CONDICIÓN RELATIVA	53
<b>Discusión</b>	<b>55</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>77</b>
<b>Referencias</b>	<b>78</b>

# Índice de figuras

Figura 1	Condiciones a las que está sometida una especie dentro de la biocenosis.	4
Figura 2	Mapa del municipio de Amozoc.	12
Figura 3	Delimitación de la Asociación “Mateo Quinto A.C.”.	14
Figura 4	Estanque Circular 1 (EC1)	15
Figura 5	Estanque Circular 2 (EC2)	15
Figura 6	Temperatura del agua durante los meses de estudio en ambos estanques.	24
Figura 7	Visibilidad del disco de Secchi	24
Figura 8	Comportamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD	25
Figura 9	Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno (% SO)	25
Figura 10	Valores de pH durante el periodo de cultivo	26
Figura 11	Variación temporal de alcalinidad total durante el estudio	26
Figura 12	Variación temporal de dureza total y dureza de calcio durante el estudio	27
Figura 13	Variación temporal de conductividad expresados en $\mu\text{S cm}^{-1}$ registrados	27
Figura 14	Variación temporal de las concentraciones de las especies químicas del nitrógeno registradas	28
Figura 15	Variación temporal de las concentraciones del fósforo total y ortofosfatos registrados	29
Figura 16	Número de especies de fitoplancton registradas en EC1	31
Figura 17	Número de especies de fitoplancton registradas en EC2	31
Figura 18	Variación temporal de fitoplancton registradas en los estanques	32
Figura 19	Productividad neta (PN) respiración (R) y productividad bruta (PB) registrada en el EC1	32
Figura 20	Productividad neta (PN) respiración (R) y productividad bruta (PB) registrada en el EC2	33
Figura 21	Composición porcentual de los grupos de zooplancton	34
Figura 22	Variación mensual del zooplancton en el EC1	37
Figura 23	Variación mensual del zooplancton en el EC2	37
Figura 24	Relación longitud - peso en <i>O. niloticus</i>	38
Figura 25	Relación longitud - peso en <i>I. punctatus</i>	39
Figura 26	Crecimiento de longitud total registrado en <i>O. niloticus</i>	40
Figura 27	Diferencia de medianas para longitud total registrado en <i>O. niloticus</i>	41
Figura 28	Aumento en peso registrado en <i>O. niloticus</i>	42
Figura 29	Diferencia de medianas para el peso registrado en <i>O. niloticus</i>	43
Figura 30	Crecimiento de longitud total registrado en <i>I. punctatus</i>	44
Figura 31	Diferencia de medianas para longitud total registrado en <i>I. punctatus</i>	45
Figura 32	Aumento en peso registrado en <i>I. punctatus</i>	46
Figura 33	Diferencia de medianas para el peso registrado en <i>I. punctatus</i>	47
Figura 34	Tasa de mortalidad de los organismos de <i>I. punctatus</i>	48
Figura 35	Factor de conversión alimenticia (FCA) en <i>O. niloticus</i>	49
Figura 36	Factor de conversión alimenticia (FCA) en <i>I. punctatus</i>	49
Figura 37	Ganancia en peso diario en <i>O. niloticus</i>	50
Figura 38	Ganancia en peso diario en <i>I. punctatus</i>	50
Figura 39	Tasa instantánea de crecimiento en longitud para <i>O. niloticus</i>	51
Figura 40	Tasa instantánea de crecimiento en peso para <i>O. niloticus</i>	51
Figura 41	Tasa instantánea de crecimiento en longitud para <i>I. punctatus</i>	51
Figura 42	Tasa instantánea de crecimiento en peso para <i>I. punctatus</i>	52
Figura 43	Factor de condición en <i>O. niloticus</i>	52
Figura 44	Factor de condición en <i>I. punctatus</i>	53
Figura 45	Factor de condición relativa en <i>O. niloticus</i>	53
Figura 46	Factor de condición relativa en <i>I. punctatus</i>	54

# Índice de tablas

Tabla 1	Relación del crecimiento del bagre de canal en las cinco fases	5
Tabla 2	Relación del alimento suministrado y el peso del organismo	16
Tabla 3	Promedio de los parámetros físicos y químicos registrados durante el periodo de cultivo	23
Tabla 4	Valores de los nutrimentos registrados durante el periodo de cultivo	28
Tabla 5	Especies de fitoplancton registradas y abundancia total en ambos estanques	30
Tabla 6	Correlaciones del fitoplancton en el EC1	33
Tabla 7	Correlaciones del fitoplancton en el EC2	34
Tabla 8	Variedad de especies registradas de zooplancton en ambos estanques	35
Tabla 9	Abundancia total en ambos estanques expresadas en org·L <sup>-1</sup> de las especies de zooplancton	36
Tabla 10	Parámetros de crecimiento de bagre de canal y tilapia obtenidos del cultivo	38
Tabla 11	Resumen estadístico de sesgo y curtosis para la longitud total en <i>O. niloticus</i>	40
Tabla 12	Prueba de contraste de varianzas para la longitud total en <i>O. niloticus</i>	41
Tabla 13	Resumen estadístico de sesgo y curtosis para el peso en <i>O. niloticus</i>	42
Tabla 14	Prueba de contraste de varianzas para el peso en <i>O. niloticus</i>	43
Tabla 15	Resumen estadístico de sesgo y curtosis para la longitud total en <i>I. punctatus</i>	44
Tabla 16	Prueba de contraste de varianzas para la longitud total en <i>I. punctatus</i>	45
Tabla 17	Resumen estadístico de sesgo y curtosis para el peso en <i>I. punctatus</i>	46
Tabla 18	Prueba de contraste de varianzas para el peso en <i>I. punctatus</i>	47
Tabla 19	Rango de valores permisibles y deseados en variables de calidad de agua piscícolas	57

# Introducción

La acuicultura en su sentido más amplio se define como el conjunto de actividades encaminadas al cultivo de especies acuáticas. La producción, crecimiento y comercialización de organismos de aguas dulces, salobres o saladas, útiles para el hombre o animales, constituyen, por lo tanto, los fines de este tipo de proceso (Bocek, 2007). En cuanto a las especies que se seleccionan para ser cultivadas, deben ser aquellas que sus características biológicas se adapten mejor a las del área en donde se montará el cultivo, con el fin de reducir al mínimo el índice de mortalidad, haciendo que el cultivo sea rentable. Por lo tanto, es indispensable acelerar el paso de la pesca-recolección hacia la acuicultura (Cifuentes, Torres-García & Frías, 2000).

En México la acuicultura nace como una actividad complementaria de apoyo social a las comunidades rurales, con lo cual se pretendía abastecer de alimento a grupos sociales marginados. Por lo tanto, los trabajos iniciales se desarrollaron en gran parte en aguas interiores con peces dulceacuícolas como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la carpa (*Cyprinus carpio*), el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) y la tilapia (*Oreochromis spp.*) (Cortés, 2010).

Actualmente, el pescado constituye una fuente esencial de alimento nutritivo y proteína animal para gran parte de la población mundial. Además, el sector proporciona medios de vida e ingresos a una parte considerable de la población mundial (FAO, 2012). El consumo mundial de pescado ha aumentado de 45 millones de toneladas en 1973 a más de 130 millones en 2000, siendo que para el 2018 la producción mundial de pescado ha alcanzado unos 179 millones de toneladas (FAO, 2020). Con el fin de servir a esta creciente demanda a largo plazo, se han fortalecido las alternativas sostenibles. La más prometedora es el sector de la acuicultura (SUSTAINAQUA, 2009), definida como el cultivo de organismos acuáticos que incluye peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, dicho cultivo implica algún tipo de intervención en el proceso de crianza para mejorar la producción en áreas

continentales y costeras (FAO, 2013). La pesca y la acuicultura realizan contribuciones importantes al bienestar y la prosperidad mundial (FAO, 2012).

## Sistemas de producción

Los sistemas de producción piscícola varían desde sencillos a muy complejos; caracterizados por el control sobre la calidad del agua, el valor nutricional del alimento y las producciones, los sistemas de cultivo tradicionales son: extensivo, semiintensivo, intensivo y súper intensivo (Saavedra-Martínez, 2006). Siendo así que el sistema extensivo va a presentar menor control en las condiciones, mientras que el intensivo y súper intensivo se caracterizan por el máximo control de dichas condiciones.

## Sistemas semiintensivos

En los sistemas semiintensivos se ha realizado una modificación significativa sobre el ambiente, se tiene control sobre el agua y las especies cultivadas. Se utilizan fertilizantes para lograr una máxima producción; también puede usarse un alimento suplementario. Este es el nivel más común de manejo para productores pequeños y medianos que no tienen recursos económicos para grandes inversiones y que cuentan con capital limitado dónde alimentos de buena calidad no son disponibles. Generalmente es un estanque que se puede llenar y drenar al gusto del productor; los insumos incluyen fertilizantes orgánicos e inorgánicos, alimentos suplementarios, subproductos agrícolas, maíz o algún alimento fabricado localmente. Las tasas de siembra en estos sistemas varían de 50,000 a 100,000 peces/ha, generalmente la duración del ciclo de producción es de cinco a seis meses, desde sembrar el alevín de 5-20 gramos hasta la cosecha. El área de los estanques es variado desde 2 ha hasta pocos metros cuadrados (Saavedra-Martínez, 2006).

## Policultivo

El policultivo es el cultivo de dos o más especies en un mismo estanque, siendo así que en un mismo volumen de agua se crían diferentes especies de organismos acuáticos. Se aprovecha mejor el espacio y el alimento utilizado en el cultivo, logrando mayores producciones (Red Regional de Entidades y Centros de Acuicultura de América Latina, 1989). El principio se basa en que la producción puede ser maximizada a través del cultivo de una combinación adecuada de especies de peces con diferentes hábitos alimentarios, lo cual permite un mejor aprovechamiento del alimento natural disponible en el estanque (Bocek, 2007), además de que disminuye los costos de producción e incrementa los rendimientos.

Generalmente el policultivo rinde mucho más que el monocultivo, especialmente si se han seleccionado las especies adecuadas. Además, mejora las condiciones ecológicas de un estanque; el principal inconveniente de la policultura es su complejidad, puede ocurrir que una especie no crezca lo que se esperaba, y esto obliga a modificar las técnicas del cultivo para dicha especie. El consumo de alimentos por las especies cultivadas puede ser distinto y hacerse más difícil la recolección y clasificación (FAO, 1978), siendo que las relaciones entre las especies de peces cultivadas y su ambiente depende principalmente de las características biológicas de los peces y el grado de intensificación del cultivo; destacando que en los sistemas extensivo y semiintensivo, basados en la producción natural, la siembra de peces con diferentes hábitos alimentarios permite una eficiente utilización de los recursos del estanque y con diferentes distribuciones horizontales y verticales en la columna de agua (Bocek, 2007), adaptando así la definición de “nicho de una especie”, siendo que está constituido por todo lo que hace, usa, modifica, desecha, ocupa o evita, con dos fines: sobrevivir y perpetuarse.

Los organismos no están solos ante el efecto de los factores del medio, sino que se influyen unos a otros formando comunidades, denominado esto como la

biocenosis (Fig. 1). De esta manera, se desarrolla la biocenosis animal (Schwoerbel, 1975).

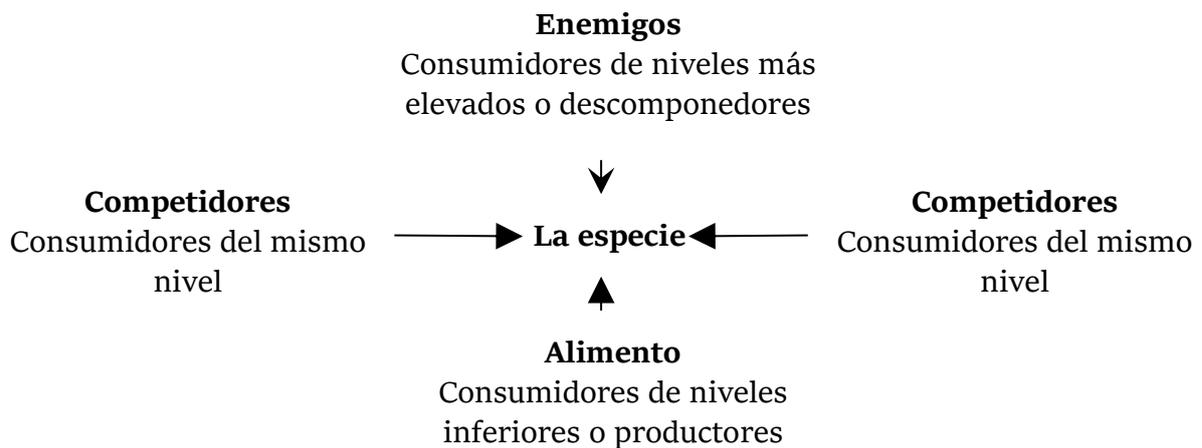


Fig. 1. Condiciones a las que está sometida una especie dentro de la biocenosis (Schwoerbel, 1975)

El policultivo es una manera de intensificar la piscicultura, ya que no se utiliza más alimento que el necesario, con base en los hábitos alimentarios compatibles de peces de que no compiten entre sí. Para utilizar hasta el máximo el alimento natural y como los peces pueden cambiar de alimento si el suministro normal se agota, es importante determinar la proporción entre las especies del policultivo de manera que no compitan entre ellas (FAO, 1978).

La alimentación está comprometida con el suministro de los nutrientes en la dieta de los peces, tanto de una manera directa o indirectamente a través del incremento en la producción de alimento vivo natural dentro del cuerpo de agua (FAO, 1989), dentro del alimento vivo, el plancton, formado por las microalgas (fitoplancton) y los organismos zooplanctónicos, como son los rotíferos, cladóceros, copépodos y nauplios, hasta grandes organismos del bentos o necton, juegan un papel importante debido a que tiene cualidades que no tiene un alimento inerte, como es el movimiento, que estimula ser atrapado por el depredador; el color, que es atractivo para su captura; la calidad nutritiva ya que contienen la cantidad de nutrimentos indispensables para el adecuado crecimiento de las especies en el agua (Castro *et al.*, 2003; Martínez-Córdova *et al.*, 2010).

# Generalidades de las especies

## Bagre de canal (*Ictalurus punctatus*: Rafinesque, 1818)

El bagre de canal es un integrante de la familia Ictaluridae, del orden de los Siluriformes, que comprende 478 géneros, 36 familias y al menos 7.000 especies (Lara-Rivera *et al*, 2015). Presenta un cuerpo desnudo y sin escamas, vientre delgado y cuerpo comprimido lateralmente, por detrás de las aletas pélvicas es más estrecho que las otras especies. Tiene una cabeza grande, ojos pequeños y una boca larga. El labio inferior algunas veces es papiloso, presenta cuatro pares de barbillas en la región de la boca. En la parte dorsal del cuerpo presenta una coloración que va de azul a negro con los costados plateados, posee branquiespinas largas y muy espaciadas en número de 14 a 18 normalmente; posee células sensoriales en todo el cuerpo con una mayor concentración de esta en los bigotes (Secretaría de Pesca, 1988). Come una gran variedad de materiales vegetales y animales. Los requerimientos nutricionales más importantes para el crecimiento del bagre son: proteínas, carbohidratos, vitaminas, grasas y minerales (Secretaría de Pesca, 1982), es un pez omnívoro que consume lo que encuentra, como peces, crustáceos, algas, plantas e insectos (Lee, 1981), además se alimentan de detritus acuáticos y zooplancton (Wellborn, 1988). El crecimiento se divide en 5 fases: huevo, alevín, cría, juveniles y adulto; la talla y peso que se alcanza en cada estadio está directamente relacionado con los factores ambientales, alimento y espacio (Secretaría de Pesca, 1982).

Tabla 1. Relación del crecimiento del bagre de canal en las cinco fases

Estadio	Talla	Peso	Tiempo
Huevo	3.4 - 4 mm	0.01 g	7 - 8 días
Alevín	2.5 - 4 cm	1.0 g	5 - 8 días
Cría	10 - 12 cm	0.03 - 0.04 kg	2.5 - 3 meses
Juvenil	15 - 30 cm	0.2 - 0.35 kg	4 - 8 meses
Adulto	40 - 60 cm	0.5 - 1 kg	12 - 24 meses

Tomado de Secretaría de Pesca (1982)

Toleran una amplia gama de condiciones ambientales. La temperatura óptima del agua para el crecimiento es de 24 - 30°C, pero los peces pueden sobrevivir a temperaturas que van desde el punto de congelación hasta unos 38°C. El crecimiento se reduce a temperaturas inferiores a 18°C, mientras que la actividad de alimentación se detiene a temperaturas inferiores a unos 10°C. El adulto tolera salinidades de 0 a 11 g L<sup>-1</sup>, sin embargo, prefiere las salinidades menores a 4 g L<sup>-1</sup> (Wellborn, 1988).

Una característica distintiva de la especie son sus hábitos nocturnos, por lo que en el día se le encuentra en las áreas profundas de los cuerpos de agua (Secretaría de Pesca, 1988), pero, prefieren los sustratos de arena y grava (Wellborn, 1988). Es nativo de la cuenca del Río Bravo frontera que comparten los EE.UU. y México, habita presas, lagos y ríos caudalosos con fondo de grava o arena. Se introdujo por primera vez a México en 1943, procedente de los Estados Unidos de América (Ceballos & Velázquez, 1988).

Phyllum	.....	Chordata
Subphyllum	.....	Vertebra
Clase	.....	Teleostei
Orden	.....	Siluriformes
Familia	.....	Ictaluridae Gill, 1861
Género	.....	Ictalurus Rafinesque, 1820
Especie	.....	<i>I. punctatus</i> (Rafinesque, 1818)

## Tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus* var. Stirling: Stirling, 1986)

El género *Oreochromis* es de origen africano, pertenece a la familia de los Cíclidos y está representado por cerca de 100 especies; la mayoría de ellas se encuentra en África, y algunas en Asia Menor. Gran parte de estas especies han sido introducidas en otras partes del mundo, en agua dulce y salobre (Rodríguez & García-Ulloa, 2009).

Las tilapias niloticas tienen cuerpo alargado y angosto con una longitud de 3.0 a 3.1 veces el ancho de la cabeza y de 2.4 a 2.5 veces la altura. Pueden distinguirse fácilmente por presentar una aleta dorsal en forma de cresta con espinas y radios en su parte terminal, así como una aleta caudal redonda y trunca (GBC, 2011). La boca es frecuentemente ancha y bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y, en algunas ocasiones, incisivos. Para su locomoción poseen aletas pares e impares; las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales (Rodríguez & García-Ulloa, 2009). Es un pez de origen africano de gran popularidad en México que fue introducido en el país desde 1964, por lo que se considera una especie exótica (GBC, 2011). Son el segundo grupo de peces más producido por la acuicultura mundial después de la carpa (herbívora y plateada), con una contribución a la producción de aproximadamente el 8.3% del volumen total de peces (FAO, 2020).

Ingiere una amplia variedad de alimentos, incluyendo plancton, macrofitas acuáticas, invertebrados planctónicos y bentónicos, larvas de pez, detritus y materia orgánica en descomposición, además es considerada un filtrador ya que se puede alimentar de fitoplancton, filtrando el agua a través de sus branquiespinas, las cuales secretan un moco que atrapa plancton, posteriormente es tragado, digerido y asimilado en el intestino (Popma & Masser, 1999).

Es una de las especies más extendidas e importantes en la acuicultura de agua dulce tropical. En realidad, *O. niloticus* es ecológica y comercialmente la especie más

importante en México. La principal ventaja de la tilapia es su costo relativamente bajo de producción, principalmente para alevines y alimento; así como la calidad de su carne. Los atributos que hacen que la tilapia del Nilo sea tan adecuada para la piscicultura son su resistencia a las condiciones adversas, la facilidad de reproducción, la tasa de crecimiento rápido, la capacidad de convertir eficientemente desechos orgánicos y domésticos en proteínas de alta calidad y buen gusto (Peña-Mendoza *et al*, 2005). Los rangos óptimos de temperatura oscilan de 20 - 30° C, pueden soportar temperaturas menores. A temperaturas menores de 15° C no crecen. La reproducción se da con éxito a temperaturas entre 26-29° C. Los límites superiores de tolerancia oscilan entre 37-42° C (Saavedra-Martínez, 2006).

Phyllum	.....	Chordata
Subphyllum	.....	Vertebrata
Clase	.....	Teleostei
Orden	.....	Perciformes
Familia	.....	Cichlidae
Género	.....	Oreochromis Günther, 1889
Especie	.....	<i>O. niloticus</i> var. Stirling (Stirling, 1986)

# Planteamiento del problema

La Asociación Civil Mateo Quinto A.C. es una institución que se encuentra dentro de la zona rural periurbana en el Municipio de Amozoc, Puebla, que tiene como objetivo principal el albergar y ayudar a personas con discapacidad en situación de abandono, dándoles un hogar temporal o permanente. Esta asociación cuenta con proyectos productivos, los cuales resultan en una fuente directa de alimento para los beneficiarios e ingresos a través de la comercialización de los productos generados, además el trabajo en los mismos sirve como terapia ocupacional para los residentes.

Dentro de los proyectos productivos se tiene una unidad para la piscicultura, en la que se han realizado monocultivos de tilapia var. Stirling, tilapia roja y carpa espejo en tres estanques; uno de concreto y dos de ferrocemento instalados en el predio de la misma asociación, obteniendo en general buenos rendimientos. Sin embargo, estos podrían incrementarse si se hace un manejo más integral de la columna de agua, al utilizar policultivos con organismos que tienen diferentes nichos ecológicos, lo que favorecería además diversificar la oferta en el mercado local y tener otra alternativa de consumo de peces.

## Hipótesis

El uso de un modelo de policultivo piscícola semi-intensivo donde las especies no compitan por espacio o gremio trófico generará un mayor rendimiento en comparación a sistemas de monocultivos al hacer uso integral de los recursos de la columna de agua, siempre y cuando éstas se cultiven en condiciones que favorezcan crecimientos adecuados.

# Objetivos

## General

- I. Evaluar el rendimiento pesquero en un sistema semi-intensivo de policultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus* var. Stirling) y bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) bajo condiciones de clima templado dentro de una comunidad autosustentable.

## Específicos

- I. Evaluar el crecimiento (en longitud y peso), el factor de condición, el factor de conversión alimenticia y la supervivencia de las especies cultivadas.
- II. Analizar la calidad de agua a través del periodo de cultivo.
- III. Determinar la diversidad y abundancia fitoplanctónica y zooplanctónica presente durante el periodo del cultivo.
- IV. Evaluar la productividad primaria del cultivo

# Método

## Zona de estudio

El presente trabajo se realizó en una unidad de producción de peces que incluye un estanque rectangular y dos estanques circulares de ferrocemento y uno de estos últimos con un invernadero perteneciente a la Asociación Civil “Mateo Quinto” durante el periodo de septiembre del 2017 a junio del 2018. Se localiza en el municipio de Amozoc en la parte central del estado de Puebla, ubicada en la carretera Federal Puebla-Tehuacán, km. 14.5 con las coordenadas 19° 2' 54" N y 98° 04' 05" O a 2316 msnm (García, 2007). El municipio de Amozoc limita al norte con el municipio de Puebla y Tepatlaxco de Hidalgo, al sur con Cuautinchán, al oriente con los municipios de Tepatlaxco y Acajete y al poniente con el municipio de Puebla (INAFED, 2017).

## Clima

Presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw (k) (w) (g)) con temperatura ambiental mínima de 3.8°C en enero y máxima de 26.6°C en abril, con un promedio anual de 15.8°C, el mes con la temperatura promedio más alta es de 18.1°C presente en mayo y a lo largo del año se presenta una temperatura mensual mayor a 10°C durante más de cuatro meses con una oscilación de entre 5°C y 7°C. La estación más seca se localiza en invierno, con una precipitación media anual de 887 mm (García, 1964; Climate-data.org, 2017).

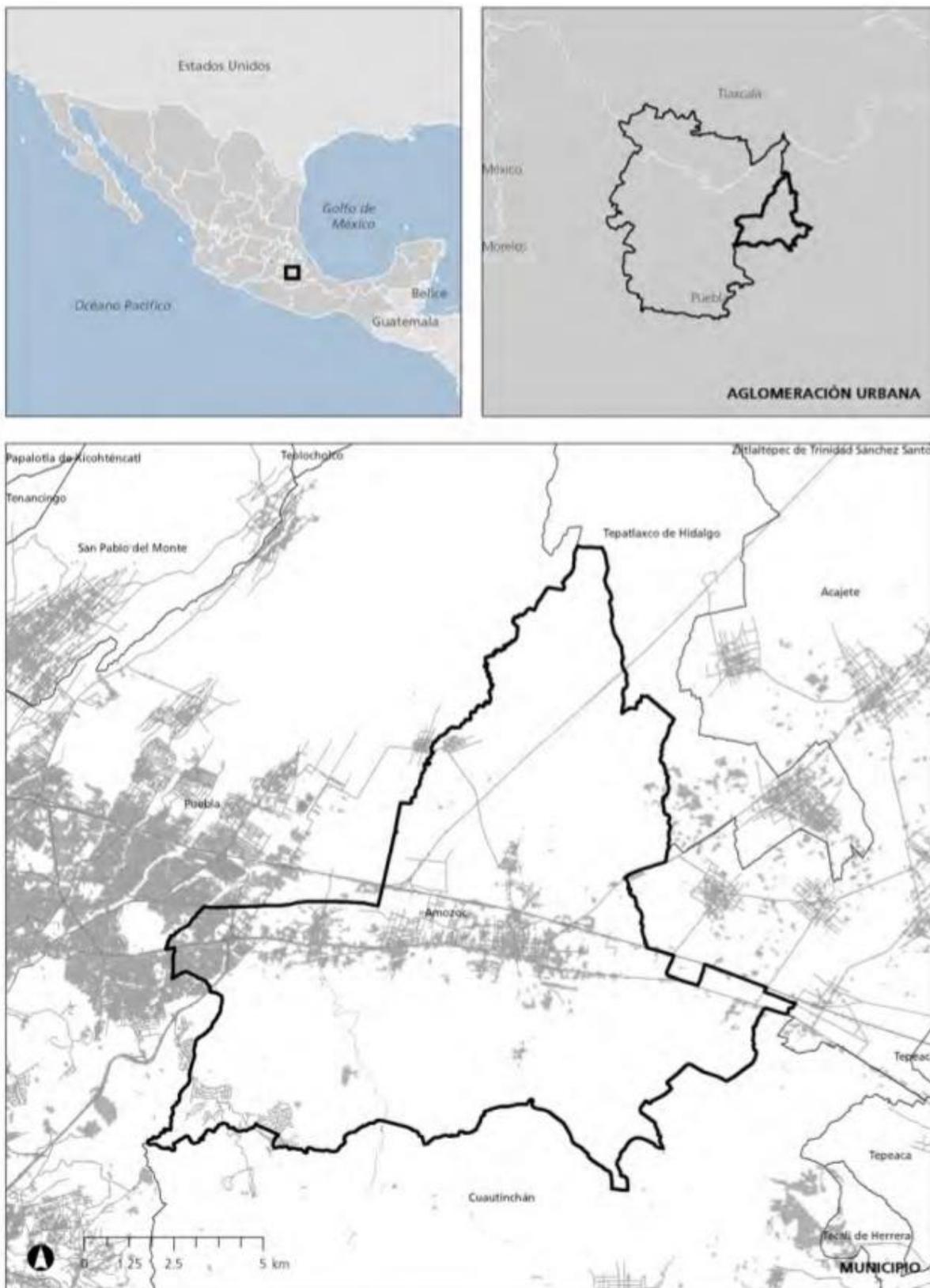


Fig 2. Mapa del municipio de Amozoc; tomado de INFONAVIT (2016)  
 Coordenadas: 18° 00'30" y 19° 12' 12" de latitud norte y 97° 59'18" y 98° 08' 42" de longitud occidental.

## Mateo Quinto A.C.

Mateo Quinto A.C. es una institución sin fines de lucro que se fundó hace más de 30 años por un grupo de jóvenes en la ciudad de Puebla, para ayudar a niñas, adolescentes y jóvenes en estado de orfandad y que presenten algún tipo de discapacidad, después se compró un predio en el municipio de Amozoc con la intención de que sus actividades se desarrollaran en un ambiente natural y así retornar a sus usuarios al medio rural y un entorno ecológico que facilitará el desarrollo humano. Al trasladarse al medio rural surgió un objetivo alternativo, que tiene que ver con la autosuficiencia económica, a partir de la operación de proyectos productivos con enfoque ecológico en la que participarían las personas con discapacidad como parte de su rehabilitación. Algunos proyectos con los que se cuenta son: granja integral, producción de huevos de codorniz, producción de maíz-frijol-haba y otros cultivos a cielo abierto, hortalizas bajo invernadero, producción de durazno, y producción de peces.

Al ubicarse en la periferia de la Ciudad de Puebla, no se cuenta con agua potable ni con red de drenaje, entre otras carencias de servicios, y con plena convicción ecológica y ambiental, se han desarrollado tecnologías alternativas para el aprovechamiento de agua a través de sistemas de captación y almacenaje de agua de lluvia, complementado con calentadores solares, así como un Sistema Unitario de Tratamientos y Recuperación de Aguas, Nutrientes y Energía (SUTRANE) de la cual se obtiene agua para el riego del huerto y jardines. A partir de los residuos orgánicos de la cocina, así como de los excrementos de los animales de traspatio, se produce lombricomposta, abonos y fertilizantes que se aprovechan para mejorar la calidad de los suelos de cultivo de la Comunidad (García, 2007).

La producción obtenida de los proyectos es para autoconsumo y también para comercialización, lo que representa una entrada económica destinada a la satisfacción de algunas necesidades básicas (García, 2007).



Fig. 3. Delimitación de la Asociación Mateo Quinto A.C. Tomado de Google Earth (30/11/21) vista 3D

## Estanque y siembra de los organismos

Se ocuparon dos estanques circulares de 8 m de diámetro por 1 m de profundidad con una capacidad de  $50.26 \text{ m}^3$  cada uno, denominados como “Estanque Circular 1 (EC1)” y “Estanque Circular 2 (EC2)” respectivamente, estando este último acondicionado con un invernadero de plástico transparente, dentro de la Asociación Civil “Mateo Quinto” de septiembre del 2017 a junio del 2018; el EC1 se acondicionó previamente al uso para este proyecto, siendo así la limpieza general seguida de un proceso de encalado de capa fina en todo el estanque de manera uniforme, quedando libres de materia orgánica así como de organismos que pudieran afectar el cultivo; y limpios. Se llenó con agua de pozo, de lluvia y agua de otro estanque contiguo sin realizar un enjuague posterior, se fertilizó de manera orgánica con 20 kilogramos de lombricomposta por sólo una ocasión y se dejó en reposo para dar paso a la explosión fitoplanctónica; mientras que el EC2 conservaba agua de un cultivo previo de tilapia y sin fertilización adicional, siendo este estanque un auxiliar para desdoblar y resguardar a los organismos durante los meses de temperaturas frías y así conservar el crecimiento y supervivencia de éstos. Además, se realizaron dos recambios de agua (en los meses de marzo y junio) para ambos estanques, dejando la mitad de agua del estanque y rellenándola con agua de pozo.



Fig. 4. Estanque circular 1 (EC1)



Fig. 5. Estanque circular 2 (EC2)

Se sembraron 500 organismos de crías de bagre de canal con un promedio de 10.2 cm de longitud total y 7.7 g de peso; y 300 ejemplares de crías de tilapia con un promedio de 5.91 cm de longitud total, 5.02 cm de longitud patrón y 3.07 g de peso en el EC1. Los organismos de ambas especies se obtuvieron gracias al apoyo de la bióloga Carmen Santiago López y a la Granja Acuícola “Izúcar” de Matamoros. Se tomó en cuenta que el bagre de canal se llega a estresar más fácilmente que la tilapia y puede morir a causa de esto, siendo así la alta densidad de siembra en este organismo; mientras que Saavedra-Martínez (2006) menciona que en un cultivo semiintensivo es accesible la siembra de 50,000 a 100,000 organismos por hectárea. Los ejemplares de la tilapia fueron exclusivamente macho, revertidos sexualmente.

Se alimentaron diariamente a los organismos con alimento balanceado complementario granulado API TILAPIA 2 con 35% de proteína y 5.5% de grasa, el cual se trituro los primeros dos meses y administró aproximadamente en respuesta a la siguiente relación (Tomado de Saavedra-Martínez, 2006) para crecimiento:

Tabla 2. *Relación del alimento suministrado y el peso del organismo*

Peso promedio (g)	Ración del peso corporal (%)
< 10	5
25	4.5
50	3.7
75	3.4
100	3.2
150	3
200	2.8
250	2.5
300	2.3
400	2
500	1.7
> 600	1.4

Mensualmente se realizó un muestreo aleatorio del 10% de los organismos con una red tipo chinchorro elaborada con malla mosquitera (abertura de 15x20 mm), La biometría, en el caso del bagre de canal, fue la longitud total medida con un ictiómetro y el peso con una balanza digital OHAUS con una precisión de  $\pm 0.1$  g; en el caso de la tilapia se midió la longitud total con un ictiómetro y se pesó con una balanza digital OHAUS con una precisión de  $\pm 0.1$ g. Además, con la ayuda de la botella Van Dorn de 2.5 litros se tomó una muestra de agua en una botella blanca de polietileno de 1 litro, la cual se mantuvo a temperatura de 4°C para realizar los análisis de calidad de agua.

## Parámetros físicos y químicos

En cada muestreo se midió, alrededor del mediodía, la penetración de luz con el disco de Secchi, tomando una muestra de agua a profundidad de 40 centímetros, la temperatura con termómetro de mercurio, pH con potenciómetro de pluma marca PHMETER con precisión de  $\pm 0.1$ , oxígeno disuelto y saturación de oxígeno medidos con el medidor portátil HACH HQ40d con precisión de  $\pm 0.05 \text{ mg L}^{-1}$ , sólidos totales disueltos con multiparámetro marca CORNING NY 14831 con precisión  $0.01 \text{ mg L}^{-1}$  y conductividad con multiparámetro marca CORNING NY 14831 con precisión de  $0.01 \mu\text{S cm}^{-1}$ , así como los parámetros de alcalinidad con el método de indicadores, dureza de calcio y dureza total con el método complejométrico por EDTA (A.P.H.A., 2012) medidos en laboratorio.

Se evaluaron los siguientes nutrientes en el laboratorio: nitritos por el método de ácido sulfanílico, nitratos por el método del ácido fenoldisulfónico, amonio por el método de Azul de indofenol (fenato), fósforo total por el método del Fosfomolibdato con Digestión y ortofosfatos por el método del Fosfomolibdato, tomados de A.P.H.A. (2012).

## Parámetros biológicos

En cada muestreo se tomaron muestras de fitoplancton con ayuda de la botella Van Dorn a profundidad de 50 centímetros y se depositaron en una botella de plástico de 250 mL, se le adicionó lugol y se refrigeraron a  $4^\circ\text{C}$ . Se cuantificaron por el método de Utermöhl (Schwoerbel, 1975) empleando cámaras de sedimentación cilíndricas con capacidad de 50.2 mL y 2.6 cm de diámetro. A causa de la alta densidad fitoplanctónica se procedió a diluir las muestras con un factor de dilución de 5 mL de la muestra.

Se homogeneizó la muestra fijada, se tomó el volumen (5 mL) de la muestra y se le adicionó el volumen de 45.2 mL de agua destilada, se tapó con un cubreobjetos cuadrado y se dejó sedimentar durante 24 h. Los conteos se realizaron con un microscopio invertido de marca OLYMPUS Ix70 modelo Ix70-S1F2, contando en

transectos horizontales en un aumento de 40X y bajo el criterio del recuento de 100 organismos, se revisó al menos 10 campos visuales por muestra. Los resultados se expresaron en número de organismos mL<sup>-1</sup>, la identificación se realizó al nivel taxonómico posible con ayuda de manuales para la identificación de algas (Bellinger & Sigeo, 2010; Needham & Needham, 1962). Para obtener la abundancia, el número de células presentes se convirtió en una concentración por unidad de volumen según la siguiente fórmula (Vicente *et al.*, 2005):

$$N = X * \left[ \frac{A * d}{a * v} \right]$$

donde: N (número de células de la muestra); X (número medido de células por campo); A (área de la cámara); v (volumen de la muestra sedimentado en la cámara); a (área del campo óptico); d (factor de dilución)

Para evaluar la productividad primaria se empleó la técnica de las botellas claras y oscuras, propuesta por Gaarder & Gran (1927). Los valores obtenidos como mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> se transformaron a mg CL<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup> multiplicando por el factor de relación entre el peso atómico del carbono y el peso molecular del oxígeno (0.375).

$$PB = \frac{Bc - Bo}{\delta t} \quad R = \frac{Bi - Bo}{\delta t} \quad PN = PB - R$$

donde: PB (productividad bruta); Bc (botella clara); Bo (botella oscura);  $\delta t$  (diferencia de tiempo); R (respiración); Bi (oxígeno inicial); PN (productividad neta)

Se realizó una correlación de Pearson con el programa Statgraphics Centurion XVI, tomando en cuenta los valores de fitoplancton, nitritos, nitratos, amonio, fósforo total, fósforo reactivo soluble, pH, disco de Secchi, productividad neta, productividad bruta, respiración, dureza total, dureza de calcio y alcalinidad para ambos estanques.

De igual manera en cada muestreo, se tomaron muestras de zooplancton por medio de la técnica de arrastre horizontal con red de zooplancton de 160 micras de abertura de malla y dimensiones de 0.33m x 1m, presentando un cilindro al final de esta que capturaba la muestra en una distancia de 1 metro y posteriormente se depositaron en una botella de 125 mL con formol al 10% y se refrigeraron a 4°C. Se realizaron conteos por campos al azar en un microscopio óptico con los objetivos 10x y 40x, siendo así que la muestra se homogeneizó por agitación, se tomó un alícuota de 5 mL, la cual se colocó en una placa para conteo de zooplancton con dimensiones de 5x3x1cm con un fondo cuadrículado de 1 cm<sup>2</sup>, se determinaron a los niveles taxonómicos posibles de los organismos zooplanctónicos presentes en las muestras (Gutiérrez, 1999; Suárez-Morales & Gutiérrez-Aguirre, 2001). Se repitió el proceso hasta obtener un conteo de 100 organismos por muestra, expresados en org L<sup>-1</sup>. Con el uso de la placa se realizó la cuantificación en densidad en relación a unidad de volumen (Schowöerbel, 1975),

## Trabajo de gabinete

Mensualmente se procesó la biometría que a continuación se menciona:

### Relación longitud-peso

Se estableció tomando en cuenta la longitud (LT) y el peso (PT) de los ejemplares, calculando las variables “a” y “b” (Ricker, 1975; Gómez-Márquez *et al*, 2016).

$$PT = a (LT)^b$$

Se analizó una relación de logaritmos de la longitud-peso mediante regresión lineal y obtener las constantes:

$$\log P = \log a + b \log L$$

donde: P (peso del individuo en gramos); L (longitud del organismo en cm); a y b (constantes, estimadas por análisis de regresión lineal)

Si un individuo conserva su forma al crecer se deduce que el crecimiento es de tipo isométrico ( $b=3$ ), cuando el valor de b es mayor que 3 ( $b>3$ ) se dice que los individuos han aumentado su peso en mayor proporción respecto a la longitud, presentando crecimiento de tipo alométrico positivo, por caso contrario, si el crecimiento en longitud es mayor proporcionalmente que el peso, se tiene una b menos que 3 ( $b<3$ ) (Froese, 2006). Para verificar el tipo de crecimientos se realizó una prueba de t-student para demostrar si los valores resultantes son significativamente diferentes de 3, verificando el tipo de crecimiento (Ricker, 1975; Gómez-Márquez *et al*, 2016).

#### Crecimiento mensual en talla y peso

El crecimiento mensual se registró en una base de datos y se compararon por medio de un diagrama de análisis de cajas múltiples.

Con base en la prueba de Kolgomorv-Smirnov se determinó el tipo de distribución que presentan los datos, verificando los sesgos y curtosis estandarizadas para corroborar si se apegan a una distribución normal y establecer si se aplica estadística paramétrica o no paramétrica. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de Levene para verificar la condición de homocedasticidad y con base en ello se determinó que si presentaban:

1. Distribución normal y homocedasticidad, se procedía a realizar un análisis de varianza (ANDEVA).
2. Distribución no normal y heterocedasticidad, se procedía a realizar la prueba de Kruskal-Wallis, un análisis de varianza de una vía no paramétrica y comparar la mediana en lugar de la media.

Además, se realizó un gráfico de medianas para observar diferencias significativas entre los tratamientos para longitud y peso, así como la prueba de medianas de Mood para comprar las medianas (Gómez-Márquez *et al*, 2016; Salgado-Ugarte, 2017; Mendoza, 2019).

#### Tasa de sobrevivencia

Número de peces vivos después de un periodo de tiempo dado, dividido por el número inicial (Granados, 1996)

$$S = \frac{\text{No. final} - \text{No. inicial}}{\text{No. inicial}} * 100$$

#### Factor de conversión alimenticia

Se utilizó para determinar los gramos de alimento consumido, por cada gramo de peso corporal ganado (Kilambi & Robinson, 1979).

$$FCA = \frac{\text{alimento entregado (g)}}{\text{peso ganado (g)}}$$

#### Tasa de crecimiento diario

Representa el incremento de peso por día (Arévalo, 2014).

$$TCD = \frac{\text{Ganancia de peso}}{\text{Número de días de cultivo}}$$

#### Tasa instantánea de crecimiento

Evalúa el crecimiento de los peces en función del peso final, peso inicial y días de crecimiento (Ricker, 1979), donde Pf es el peso final y Pi es el peso inicial; así

como el crecimiento de los peces en función de la longitud, donde Lf es la longitud final y Li la longitud inicial.

$$\text{TIC} = \frac{(\ln Pf - \ln Pi)}{\text{días}} * 100 \quad \text{TIC} = \frac{(\ln Lf - \ln Li)}{\text{días}} * 100$$

Factor de condición de Fulton (K)

Mediante el factor de condición de Fulton (K) (Fulton, 1904), se describe aspectos de crecimiento, madurez, estado nutricional y reproducción (Gómez-Márquez *et al*, 2016); donde P (peso corporal húmedo de los cada uno de los organismos muestreados), L (longitud en cm obtenida de cada uno de los organismos muestreados) y “b” es una constante estimada a partir de la relación longitud-peso.

$$K = \frac{100 * P}{L^b}$$

Factor de condición relativa (Kn)

Mide la desviación de un individuo con respecto al promedio de la longitud en la respectiva muestra (Froese, 2006); donde P (peso corporal húmedo de los cada uno de los organismos muestreados), L (longitud en cm obtenida de cada uno de los organismos muestreados) y “a” y “b” son constantes a partir de la relación longitud-peso.

$$Kn = \frac{P}{a L^b}$$

El rendimiento piscícola se obtuvo como el peso total (Kg) de los organismos cosechados, expresado en unidad de área (m<sup>2</sup>) y de tiempo (año).

# Resultados

## Calidad de agua

La siguiente tabla muestra un resumen de los parámetros físicos y químicos obtenidos durante el tiempo de estudio en ambos estanques; en general, los parámetros se mantuvieron constantes, exceptuando la dureza total, porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura del agua.

Tabla 3. Promedio de los parámetros físicos y químicos registrados durante el periodo de cultivo

	EC 1		EC 2	
	Prom. ± d.e.	Mín - Máx	Prom. ± d.e.	Mín - Máx
Temperatura del agua (°C)	20.65 ± 1.76	18 - 23	22.2 ± 2.26	19 - 25.5
Disco de Secchi (cm)	25 ± 2.50	22 - 31	25 ± 1.31	23 - 27
Oxígeno disuelto (mg·L <sup>-1</sup> )	14.3 ± 1.11	12.0 - 15.8	14.4 ± 0.90	13.1 - 16
Saturación de oxígeno (%SO)	105.86 ± 23.7	71.1 - 145	121.38 ± 12.67	93.8 - 159
pH	10.29 ± 0.30	9.7 - 10.64	9.34 ± 0.32	9.1 - 10
Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> ·L <sup>-1</sup> )	126 ± 13.98	110 - 155	91.2 ± 3.08	85 - 95
Dureza total (mg·L <sup>-1</sup> )	244.12 ± 14.59	220.2 - 264.50	362.05 ± 14.58	350.35 - 400.4
Dureza de calcio (mg CaCO <sub>3</sub> ·L <sup>-1</sup> )	60.76 ± 11.36	53.4 - 90.1	62.15 ± 9.06	55.0 - 80.1
Sólidos totales disueltos (mg·L <sup>-1</sup> )	141.7 ± 10.87	120 - 160	149 ± 8.47	135 - 164
Conductividad (μS cm <sup>-1</sup> )	255 ± 25.81	214 - 286	273.60 ± 14.85	240 - 289

EC1 - Estanque circular 1  
EC2 - Estanque circular 2

Como se mencionó previamente, el EC2 estaba acondicionado de manera que funcionara como invernadero y así poder mantener la temperatura del agua durante la temporada fría. Entre ambos estanques se registró una diferencia promedio de 2°C en la temperatura del agua, siendo así que el EC2 si mantuvo un rango mayor son respecto al EC1 (Figura 6).

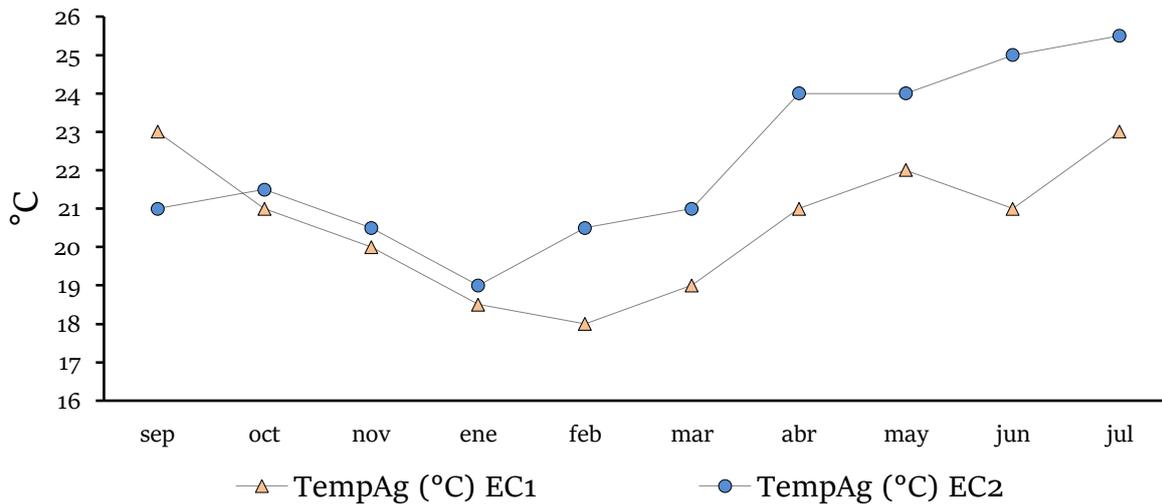


Fig. 6. Temperatura del agua durante los meses de estudio en ambos estanques.

Con el uso del disco de Secchi se obtuvo una visibilidad similar en ambos estanques, a pesar de la diferencia estructural entre ellos. Dicha visibilidad promedió a los 25 centímetros de profundidad y dicho valor no varió mucho durante el estudio, sin embargo, el EC1 presentó la mayor visibilidad del disco a una profundidad de 31 cm en el mes de septiembre, siendo este el primer mes del cultivo y con agua de un pozo marcando el inicio de la eutrofización del estanque, siendo que el EC2 se mantuvo con agua de un cultivo previo (Figura 7).

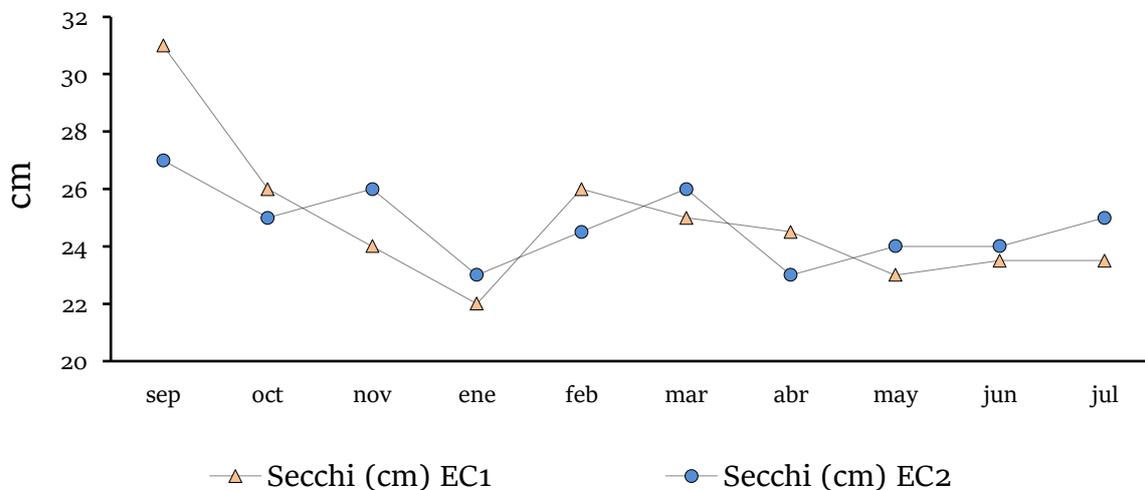


Fig.7. Visibilidad del disco de Secchi

El oxígeno disuelto en ambos estanques presentó una tendencia inversa respecto a la temperatura y a pesar de los aproximadamente 2°C de diferencia entre el EC 1 y el EC2, el promedio del OD se registró en 14.3 y 14.4 respectivamente (Figura 8), además de que los valores entre estos tampoco fueron demasiado alejados al promedio, presentando desviaciones de 1.11 y 0.90 para cada estanque.

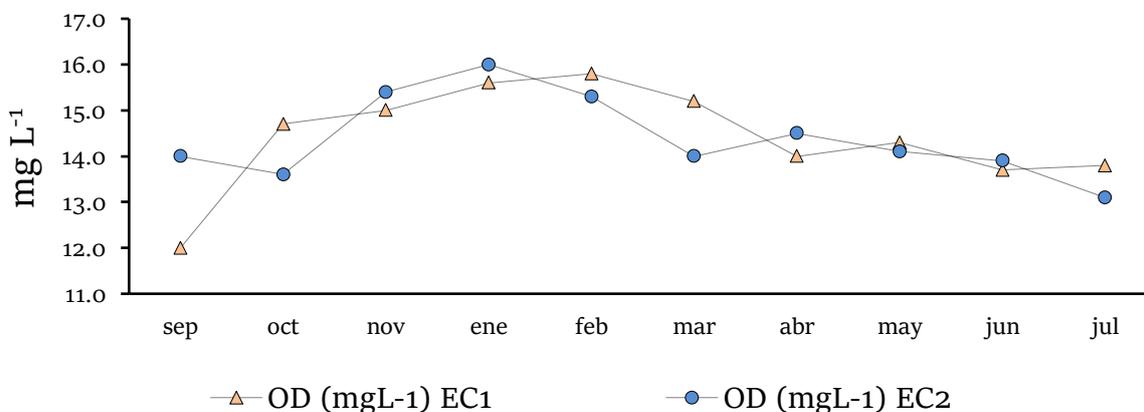


Fig. 8. Comportamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD)

Respecto a la saturación de oxígeno (%SO), el porcentaje en el cultivo tendió a la sobresaturación en los estanques con valores promedio de 105.86 y 121.38; sin embargo, la diferencia entre los valores de ambos estanques fue notaría durante todo el estudio, aunque en ambos se mostró una tendencia similar a partir del mes de enero (Figura 9).

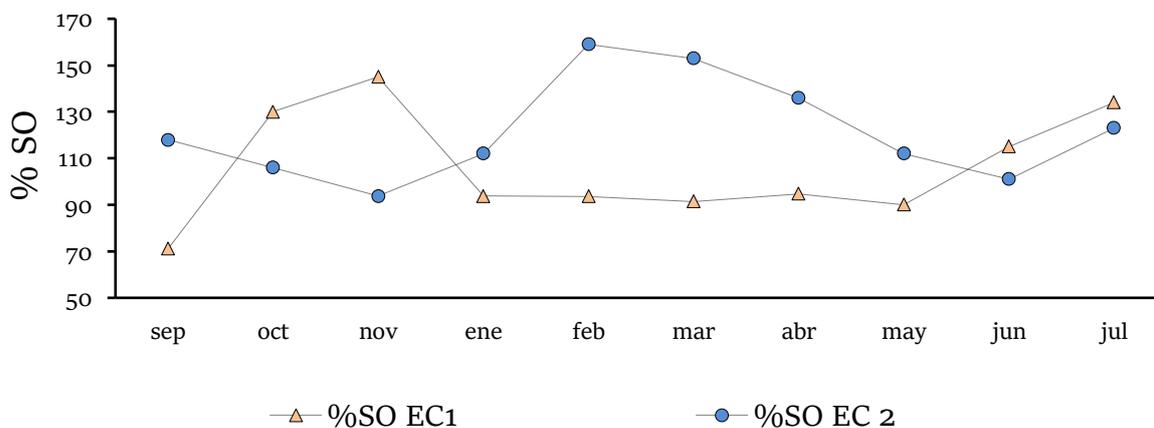


Fig. 9. Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno (% SO)

Los valores de pH en ambos estanques se mantuvieron por arriba del valor de 9, siendo que los valores del EC1 mostraron un comportamiento similar durante todo el periodo de estudio, mientras que el EC2 mostro dicho comportamiento a partir del mes de febrero; los valores promedio fueron de 10.29 y 9.34 respectivamente, resultando en un ambiente alcalino (Figura 10).

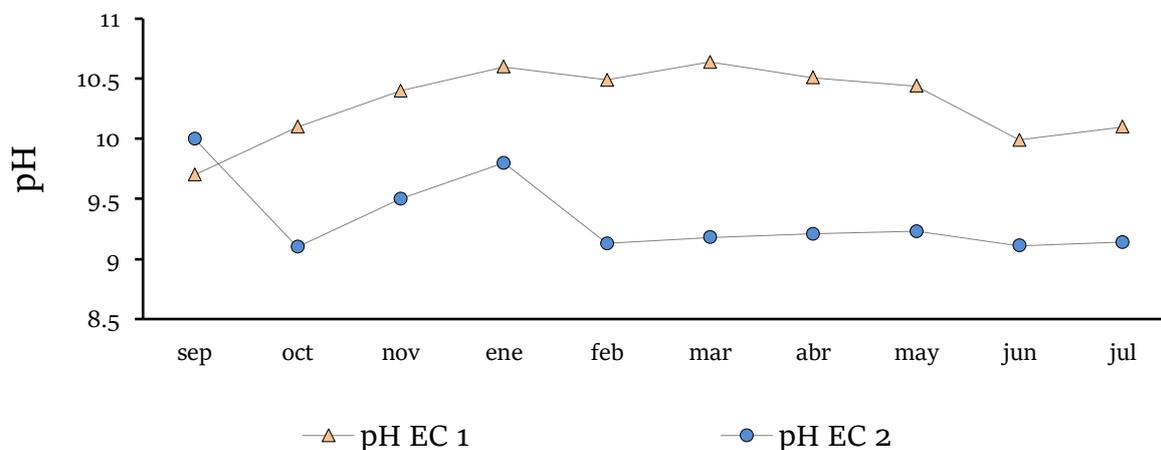


Fig. 10. Valores de pH durante el periodo de cultivo

Los valores de alcalinidad en ambos estanques mostraron un promedio de 126  $\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  en el EC1 y 91.2  $\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  en el EC2. El EC2 presentó valores menores durante todo el estudio además de un comportamiento estable en comparación al EC1, siendo así que su valor máximo de 95 no supero el valor mínimo del EC1 de 110 (Figura 11).

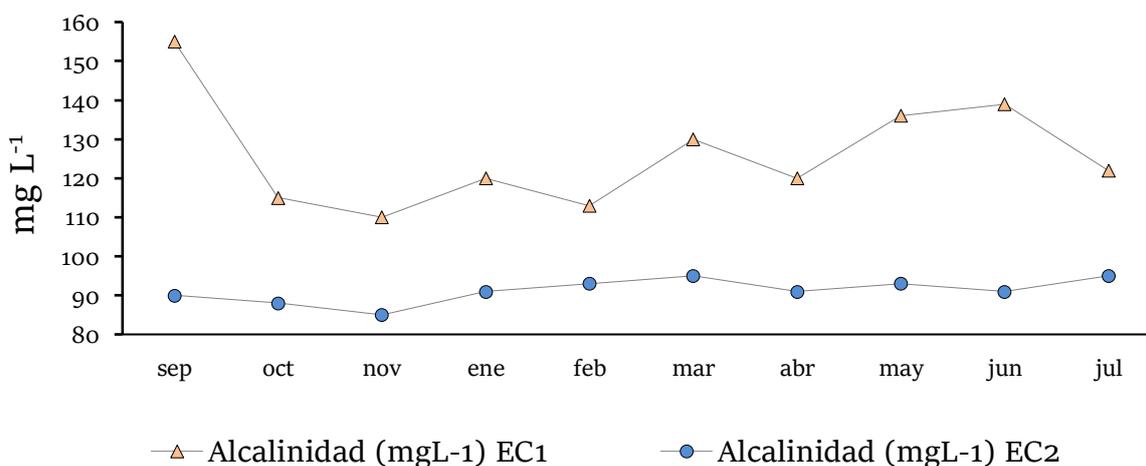


Fig. 11. Variación temporal de alcalinidad total durante el estudio

Los valores de dureza total y dureza de calcio en ambos estanques, al contrario que los valores de alcalinidad, fueron más altos en el EC2 con respecto al EC1, presentando valores promedio de  $362.05 \text{ mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  y  $62.15 \text{ mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  para dureza total y dureza de calcio para el EC2 en comparación a valores promedio de  $244.12 \text{ mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  y de  $60.74 \text{ mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  para dureza total y dureza de calcio para el EC1 (Figura 12).

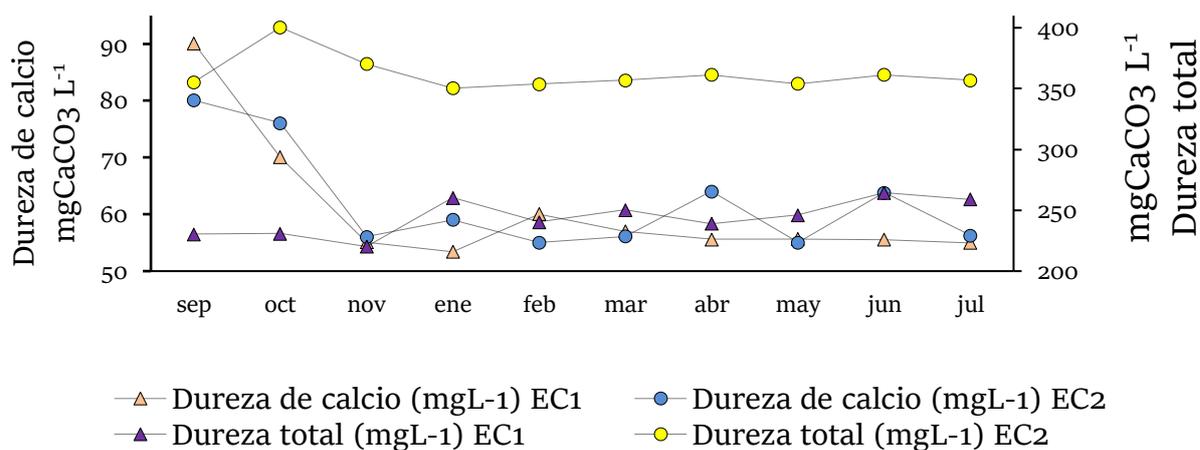


Fig. 12. Variación temporal de dureza total y dureza de calcio durante el estudio

Para los datos de conductividad y sólidos totales disueltos (STD), los valores presentaron comportamientos similares en ambos estanques, promediando para los STD  $141.7$  y  $149 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y para la conductividad valores de  $255$  y  $273.6 \mu\text{S cm}^{-1}$ , siendo en ambos casos los primeros mencionados correspondiendo al EC1 y los segundos a EC2 (Figura 13).

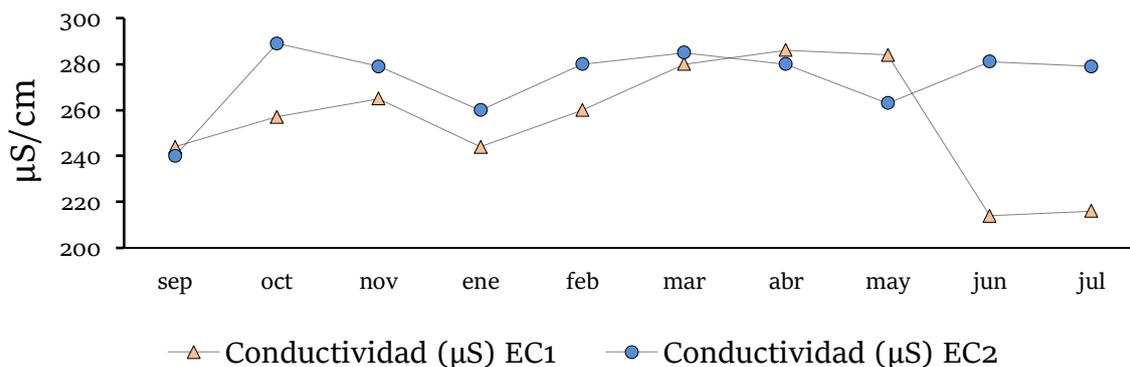


Fig. 13. Variación temporal de conductividad expresados en  $\mu\text{S cm}^{-1}$  registrados

## Nutrientes

Las concentraciones de los nutrientes fueron registradas mensualmente y resumidos en la tabla 4.

Tabla 4. Valores promedio de los nutrientes registrados durante el periodo de cultivo

(mg·L <sup>-1</sup> )	EC1		EC2	
	Prom. ± d.e.	Mín - Máx	Prom. ± d.e.	Mín - Máx
Nitritos	0.0028 ± 0.0003	0.0023 - 0.0035	0.0051 ± 0.0011	0.0031 - 0.0062
Nitratos	0.063 ± 0.024	0.014 - 0.084	0.047 ± 0.015	0.028 - 0.063
Amonio	0.075 ± 0.018	0.026 - 0.090	0.183 ± 0.044	0.116 - 0.25
Fósforo total	0.405 ± 0.16	0.12 - 0.63	0.508 ± 0.03	0.433 - 0.557
Ortofosfatos	0.073 ± 0.028	0.016 - 0.121	0.082 ± 0.009	0.062 - 0.094

Respecto a las concentraciones de las especies químicas del nitrógeno medidas en el estudio, los nitritos en ambos estanques se presentaron en valores casi imperceptibles promediando en 0.0028 mg·L<sup>-1</sup> para el EC1 y 0.0051 mg·L<sup>-1</sup> para el EC2; los nitratos se mantuvieron en valores promedio de 0.063 mg·L<sup>-1</sup> y 0.047 mg·L<sup>-1</sup>, a diferencia de los nitritos, los valores del EC2 fueron menores que los del EC1. Los valores de amonio fueron los más altos de las tres especies químicas en los estanques, promediando en cantidades de 0.075 mg·L<sup>-1</sup> en el EC1 y con 0.183 mg·L<sup>-1</sup> para el EC2 (Figura 14).

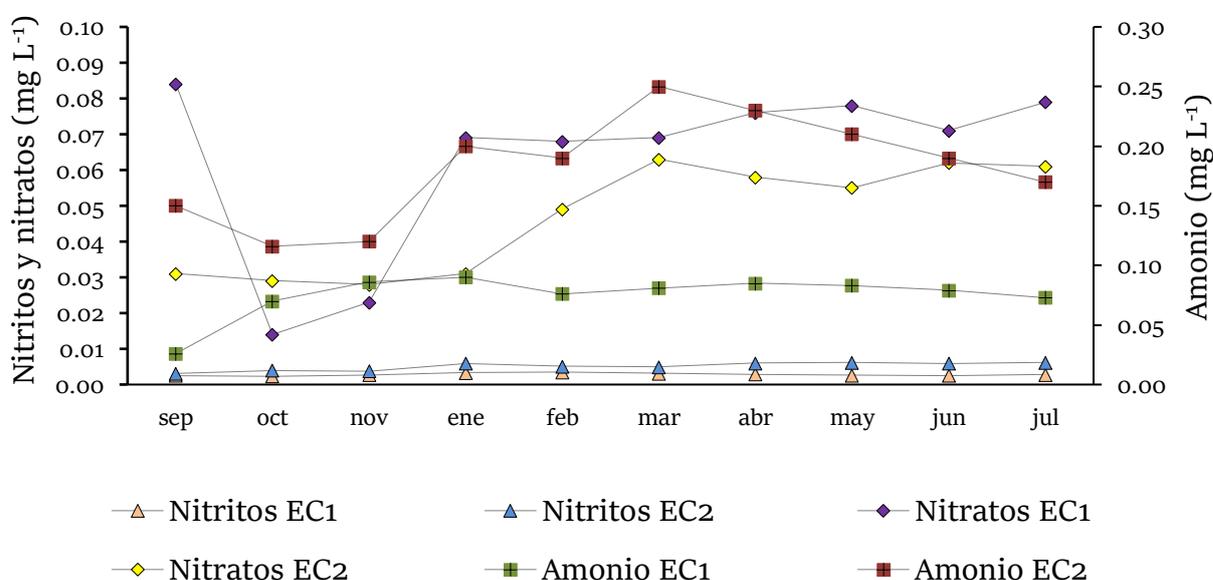


Fig. 14. Variación temporal de las concentraciones de las especies químicas del nitrógeno registradas

Las concentraciones del fósforo total y ortofosfatos se encontraron en altos niveles en ambos estanques, siendo el valor del fósforo total más alto en el EC2 con un promedio de  $0.508 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  respecto al EC1 con un promedio de  $0.405 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; la relación de ortofosfatos nuevamente es más elevada en el EC2 con un valor promedio de  $0.082 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en comparación con el EC1 con un valor promedio de  $0.073 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Figura 15).

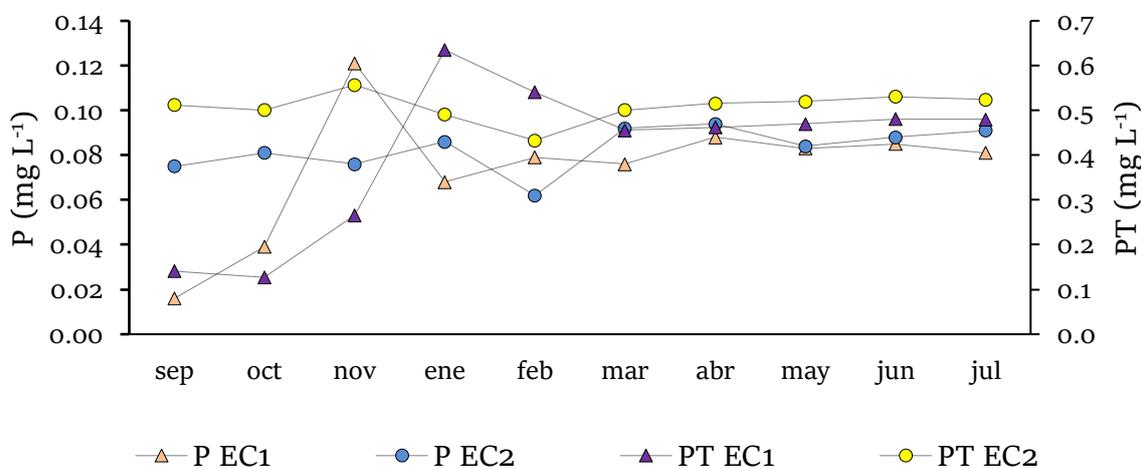


Fig. 15. Variación temporal de las concentraciones del fósforo total y ortofosfatos registrados

## Fitoplancton

Durante el estudio se registraron 12 especies de fitoplancton de las muestras obtenidas de ambos estanques. La diversidad en los dos ambientes fue similar a excepción de que *Euglena spp*, fue la única especie que difirió entre los muestreos de estos ya que se presentó en el EC2 a partir del mes de noviembre al mes de febrero en densidades bajas, mientras que en el EC1 estuvo ausente durante todo el proyecto.

De las especies registradas, 9 de ellas (75%) pertenecen a la división Chlorophyta, 2 especies (16.6%) a la división Cyanobacteria y 1 especie (8.3%) a la división Euglenophyta (Tabla 5). Del total de especies, las de mayor densidad en las muestras fueron *Cosmarium vexatum*, *Coelastrum sphaericum* y *Pediastrum simplex*.

Tabla 5. Especies de fitoplancton registradas y abundancia total en ambos estanques

División	Especie	Cel·ml <sup>-1</sup>	
		EC1	EC2
Chlorophyta	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> Ralfs 1848	49 298	53 998
Chlorophyta	<i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck 1890	288 030	790 672
Chlorophyta	<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli 1849	858 992	965 100
Chlorophyta	<i>Cosmarium vexatum</i> West 1892	957 316	1 531 365
Chlorophyta	<i>Kirchneriella obesa</i> West & G.S. West 1894	1 003 163	183 662
Chlorophyta	<i>Monoraphidium arcuatum</i> Hindák 1970	644 434	479 040
Chlorophyta	<i>Pteromonas angulosa</i> Lemmermann 1900	14 181	24 980
Chlorophyta	<i>Pediastrum simplex</i> Meyen 1829	14 094	20 552
Chlorophyta	<i>Scenedesmus quadricauda</i> Brébisson 1835	198 347	482 010
Cyanobacteria	<i>Anabaenopsis elenkinii</i> V.V. Miller 1923	8 904	9 930
Cyanobacteria	<i>Microcystis aeruginosa</i> Kützing 1846	630	1 601
Euglenozoa	<i>Euglena spp.</i>	N/A	215

El máximo valor de riqueza de especies para el EC1 se presentó en 6 ocasiones con un total de 11 especies en cada uno (Figura 16); mientras que para el EC2 el máximo ocurrió en el tercer evento de muestreo y conforme se iba acercando la temporada de invierno se observó una disminución hasta alcanzar un valor de 9 especies y posteriormente, en marzo, comenzó un ascenso (Figura 17).

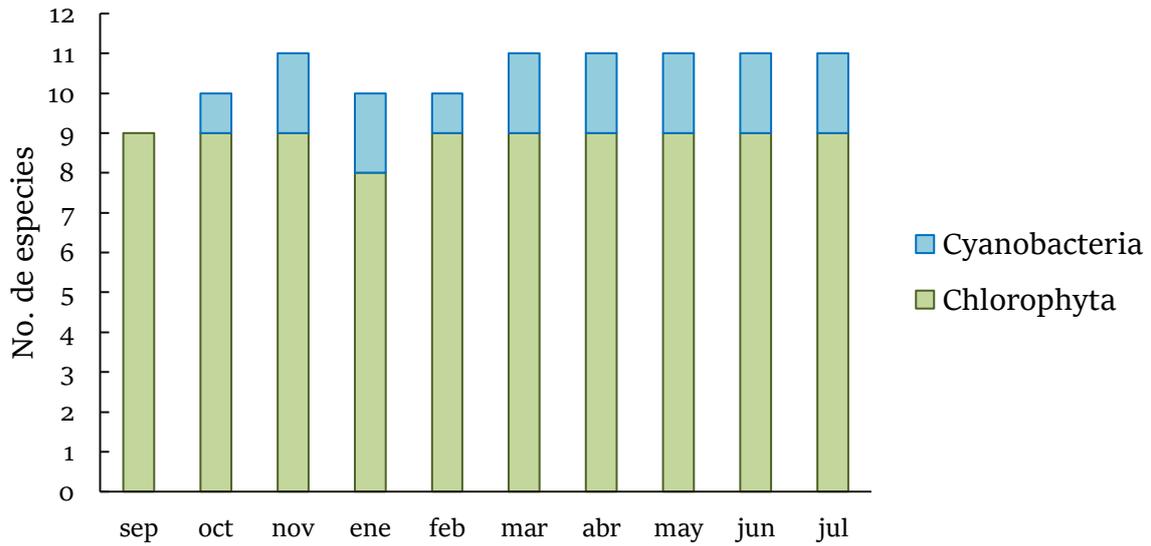


Fig. 16. Número de especies de fitoplancton registradas en EC1

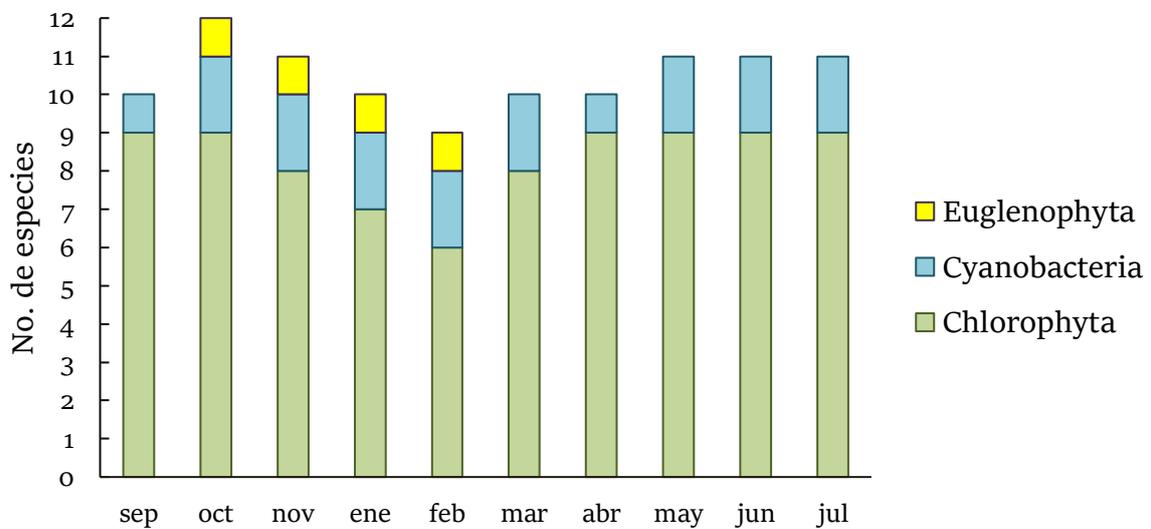


Fig. 17. Número de especies de fitoplancton registradas en EC2

Las fluctuaciones en las abundancias totales fitoplanctónicas a través de los meses (Figura 18) se reflejaron en un intervalo de 132,257 a 598,782 cel·mL<sup>-1</sup> para el EC1 y un intervalo de 374,623 a 599,284 cel·mL<sup>-1</sup> para el EC2.

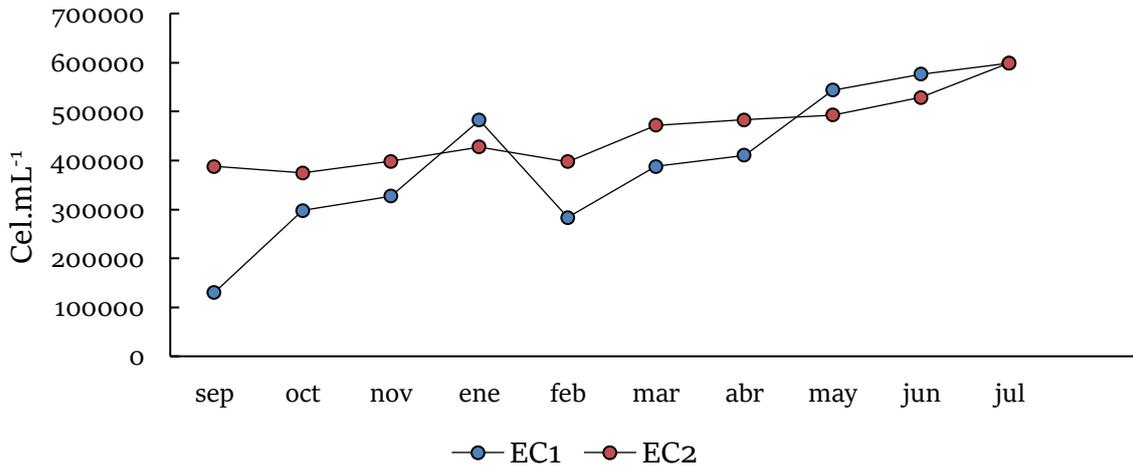


Fig. 18. Variación temporal de fitoplancton registradas en los estanques

## Productividad primaria

La productividad primaria se determinó en ambos estanques mostrando los datos promedio de productividad neta, respiración y productividad bruta que se expresan en mg C L<sup>-1</sup>. Para el estanque circular 1 se obtuvo un promedio en productividad bruta, neta y respiración de  $5.90 \pm 1.49$ ,  $1.76 \pm 0.82$  y  $4.76 \pm 2.20$  respectivamente (Figura 19); en el caso del estanque circular 2 se obtuvo valores promedio de  $5.80 \pm 1.32$ ,  $1.95 \pm 0.49$  y  $4.51 \pm 1.23$  para productividad bruta, neta y respiración (Figura 20).

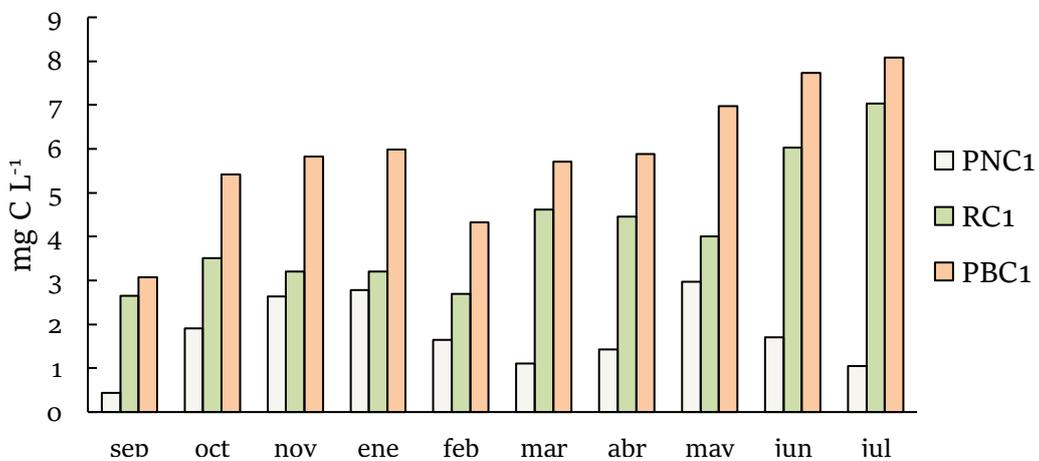


Fig. 19. Productividad neta (PN) respiración (R) y productividad bruta (PB) registrada en el EC1

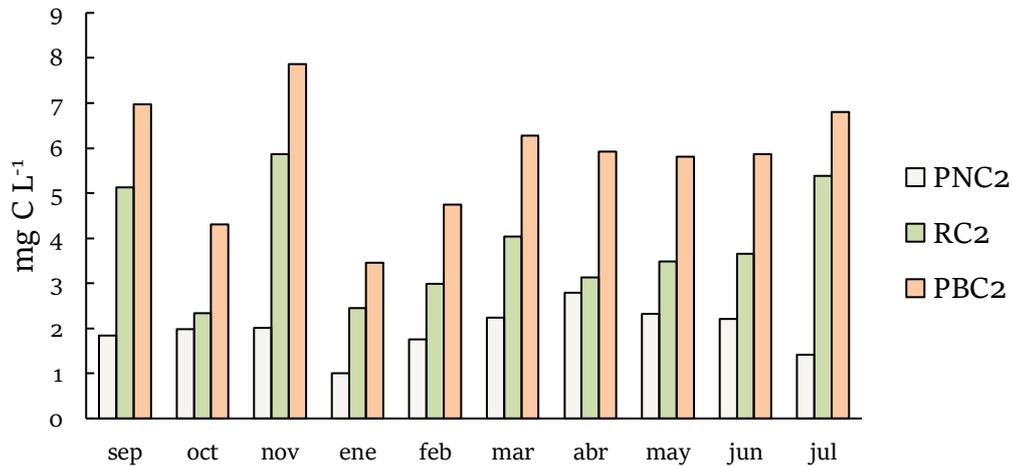


Fig. 20. Productividad neta (PN) respiración (R) y productividad bruta (PB) registrada en el EC2

Se realizó una correlación tomando en cuenta los valores de fitoplancton, nitritos, nitratos, amonio, fósforo total (PT), fósforo reactivo soluble (PSR), pH, visibilidad al disco de Secchi, productividad neta (PN), productividad bruta (PB), respiración (R), dureza total, dureza de calcio y alcalinidad para el EC1 (Tabla 6) y EC2 (Tabla 7), los números marcados en rojo indican correlaciones significativamente diferentes de 0 y un nivel de confianza del 95%.

Tabla 6. Correlaciones del fitoplancton en el EC1.

x	Fitoplancton
<b>Nitritos</b>	0.9415
<b>Nitratos</b>	0.4385
<b>Amonio</b>	0.0489
<b>Fósforo total</b>	0.0377
<b>PSR</b>	0.1329
<b>pH</b>	0.4949
<b>Disco de Secchi</b>	0.0018
<b>Productividad neta</b>	0.4385
<b>Productividad bruta</b>	0.0000
<b>Respiración</b>	0.0077
<b>Dureza total</b>	0.0075
<b>Dureza de calcio</b>	0.0089
<b>Alcalinidad</b>	0.8057

Tabla 7. Correlaciones del fitoplancton en el EC2.

X	Fitoplancton
Nitritos	0.0105
Nitratos	0.0048
Amonio	0.2121
Fósforo total	0.3625
PSR	0.0359
pH	0.5435
Disco de Secchi	0.0030
Productividad neta	0.8524
Productividad bruta	0.0001
Respiración	0.5171
Dureza total	0.2926
Dureza de calcio	0.2147
Alcalinidad	0.0496

## Zooplancton

Se registraron 9 especies de zooplancton (Tabla 8) de las muestras obtenidas para ambos estanques. De las especies registradas, 2 especies (22.2%) pertenecen al orden Calanoida, 1 especie (11.1%) a Cyclopoida, 1 especie (11.1%) a Díptera y 5 especies (55.5%) a Ploima. El grupo de rotíferos fue el más abundante en ambos estanques, seguido del grupo de copépodos y al final el grupo de insectos; el grupo de los cladóceros tuvo nula presencia en ambos estanques en todo el proyecto (Figura 21).

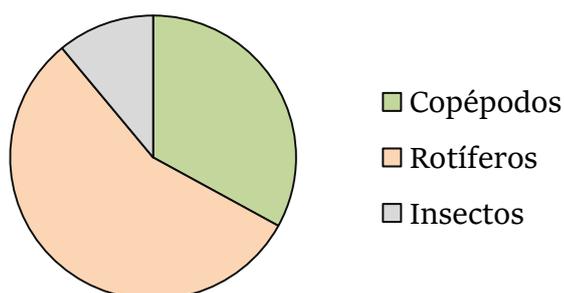


Fig 21. Composición porcentual de los grupos de zooplancton

Tabla 8. Variedad de especies registradas de zooplancton en ambos estanques

Orden	Familia	Especie
Calanoida	Diaptomidae	<i>Arctodiaptomus dorsalis</i> Marsh, 1907
Calanoida	Diaptomidae	<i>Leptodiaptomus novamexicanus</i> Herrick, 1895
Cyclopoida	Cyclopidae	<i>Thermocyclops inversus</i> Kiefer, 1936
Díptera	Culicidae	<i>Culex pipiens</i> Linnaeus, 1758
Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766
Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus havanaensis</i> Rousselet, 1913
Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783
Ploima	Brachionidae	<i>Brachionus urceolaris</i> Müller, 1773
Ploima	Brachionidae	<i>Keratella americana</i> Carlin, 1943

Del total de especies, las de mayor abundancia en las muestras para el EC1 fueron *Thermocyclops inversus* (604 org L<sup>-1</sup> en promedio), *Brachionus calyciflorus* (604 org L<sup>-1</sup> en promedio) y *Brachionus havanaensis* (616 org L<sup>-1</sup> en promedio), mientras que para el EC2 fueron *Brachionus quadridentatus* (676 org L<sup>-1</sup> en promedio) y *Brachionus urceolaris* (736 org L<sup>-1</sup> en promedio). El máximo valor de riqueza de especies (8 especies) ocurrió en el segundo evento de muestreo para ambos estanques y se mantuvo constante durante el resto del proyecto; respecto al primer muestreo, *Arctodiaptomus dorsalis*, *Leptodiaptomus novamexicanus* y *Keratella americana* se mostraron ausentes, y *Culex pipiens* que se presentó en ésta única ocasión para el estanque circular 1; mientras que para el estanque circular 2, a excepción de *C. pipiens*, las demás especies se encontraron en todos los muestreos, *C. pipiens* se presentó sólo en los primeros tres muestreos del proyecto (Tabla 9).

Tabla 9. Abundancia total en ambos estanques expresadas en orgL<sup>-1</sup> de las especies de zooplancton

<b>Especie</b>	<b>EC1</b>	<b>EC2</b>
<i>Arctodiaptomus dorsalis</i> Marsh, 1907	3 400	4 160
<i>Leptodiaptomus novamexicanus</i> Herrick, 1895	4 440	4 000
<i>Thermocyclops inversus</i> Kiefer, 1936	6 040	2 880
<i>Culex pipiens</i> Linnaeus, 1758	1 040	1 280
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766	6 040	4 520
<i>Brachionus havanaensis</i> Rousselet, 1913	6 160	4 720
<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783	4 200	6 760
<i>Brachionus urceolaris</i> Müller, 1773	4 840	7 360
<i>Keratella americana</i> Carlin, 1943	3 840	4 320

Las especies de zooplancton en ambos estanques fueron las mismas, sin embargo, las densidades difirieron; en el EC1, la variación mensual del zooplancton (Figura 22), tuvo el valor más alto para *Culex pipiens* con 1040 org L<sup>-1</sup> en el mes de septiembre, para el grupo de copépodos con *Thermocyclops inversus* con 840 org L<sup>-1</sup> en el mes de septiembre y para el grupo de rotíferos con *Brachionus havanaensis* con 880 org L<sup>-1</sup> en el mes de mayo; en el EC2, la variación mensual del zooplancton (Figura 23), tuvo el valor más alto para *Culex pipiens* con 440 org L<sup>-1</sup> en el mes de septiembre y octubre, para el grupo de copépodos con *Leptodiaptomus novamexicanus* con 600 org L<sup>-1</sup> en el mes de julio y para el grupo de rotíferos con *Brachionus urceolaris* con 880 org L<sup>-1</sup> en el mes de febrero.

El promedio de densidades por grupo para el EC1 se registró como 463 org L<sup>-1</sup> de copépodos y 502 org L<sup>-1</sup> de rotíferos, mientras que para el EC2 se registró como 368 org L<sup>-1</sup> de copépodos, 427 org L<sup>-1</sup> de insectos y 554 org L<sup>-1</sup> de rotíferos.

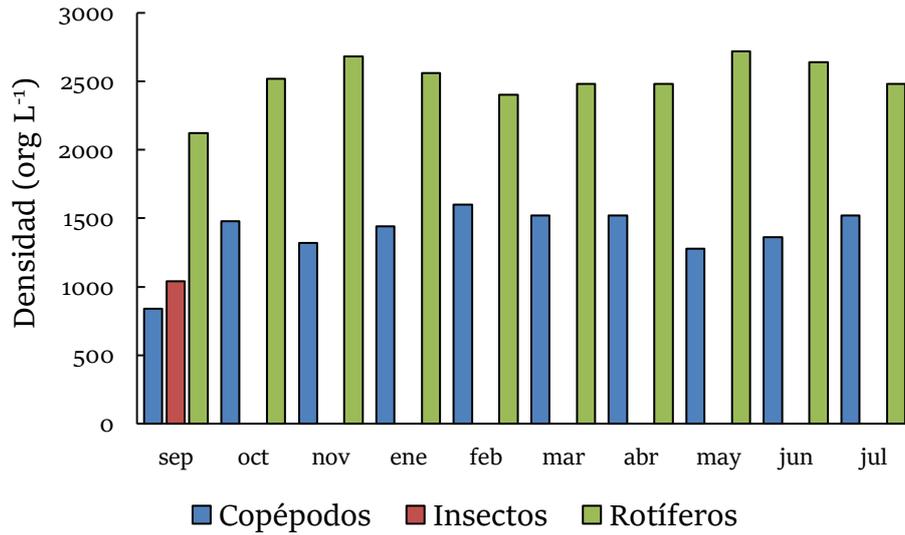


Fig. 22. Variación mensual del zooplancton en el EC1

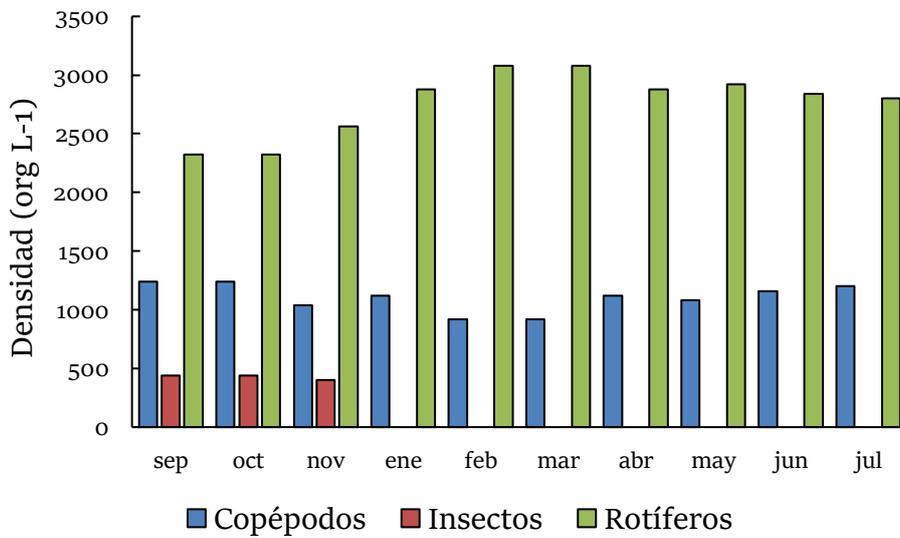


Fig. 23. Variación mensual del zooplancton en el EC2

## Cultivo de peces

Los datos obtenidos sobre el crecimiento e índices registrados de los organismos se resumen en la Tabla 10; para el final del estudio, la tilapia alcanzó un peso promedio de 325 gramos superando el gramaje comercial de 250 gramos; el bagre, por su lado, alcanzó un peso promedio de 195 gramos, quedando por debajo de la talla promedio de presentación que es de 250 a 300 gramos.

Tabla 10. Parámetros de crecimiento de bagre de canal y tilapia obtenidos del cultivo

	Bagre de canal (Prom)	Tilapia nilotica (Prom)
Peso inicial (gr)	7.7 ± 2.7	3.07 ± 1.73
Peso final (gr)	195 ± 32.03	325 ± 19.6
Longitud total inicial (cm)	10.2 ± 0.9	5.91 ± 1.20
Longitud total final (cm)	36.6 ± 3.05	29.1 ± 1.14
Sobrevivencia (%)	60	98

### Relación longitud - peso

Se analizó la relación entre el peso y la longitud de ambas especies obteniendo un modelo de crecimiento potencial, resultando en el caso de la tilapia (Figura 24) un valor de “a” de 0.0169, “b” de 3.0441 y una R<sup>2</sup> de 97.256 mostrando un crecimiento isométrico; para el bagre de canal (Figura 25) se obtuvo un valor de “a” de 0.0061, “b” de 3.1461 y una R<sup>2</sup> de 97.0516 mostrando un crecimiento alométrico positivo.

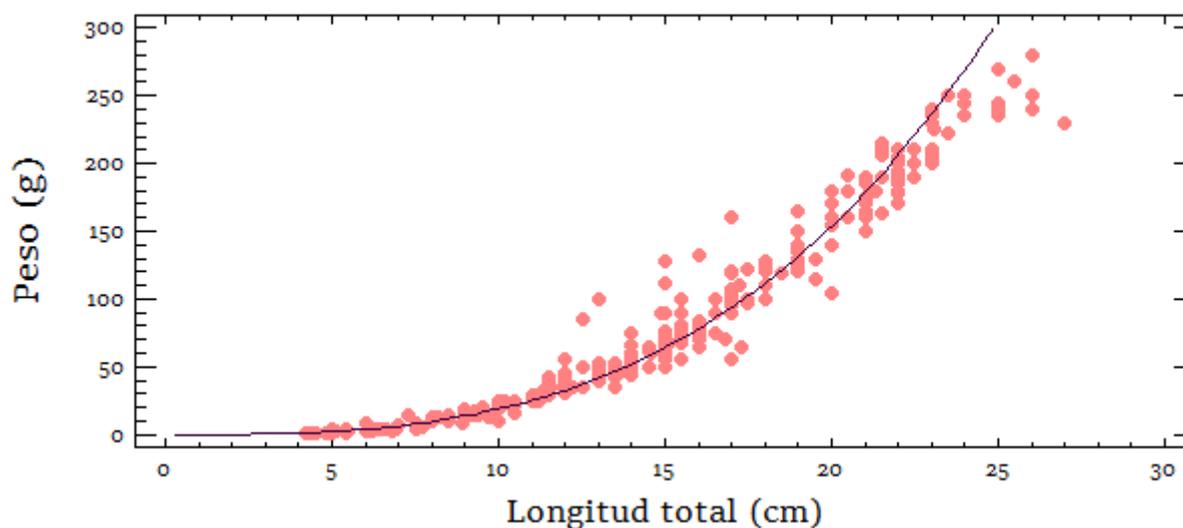


Fig. 24. Relación longitud - peso en *O. niloticus*

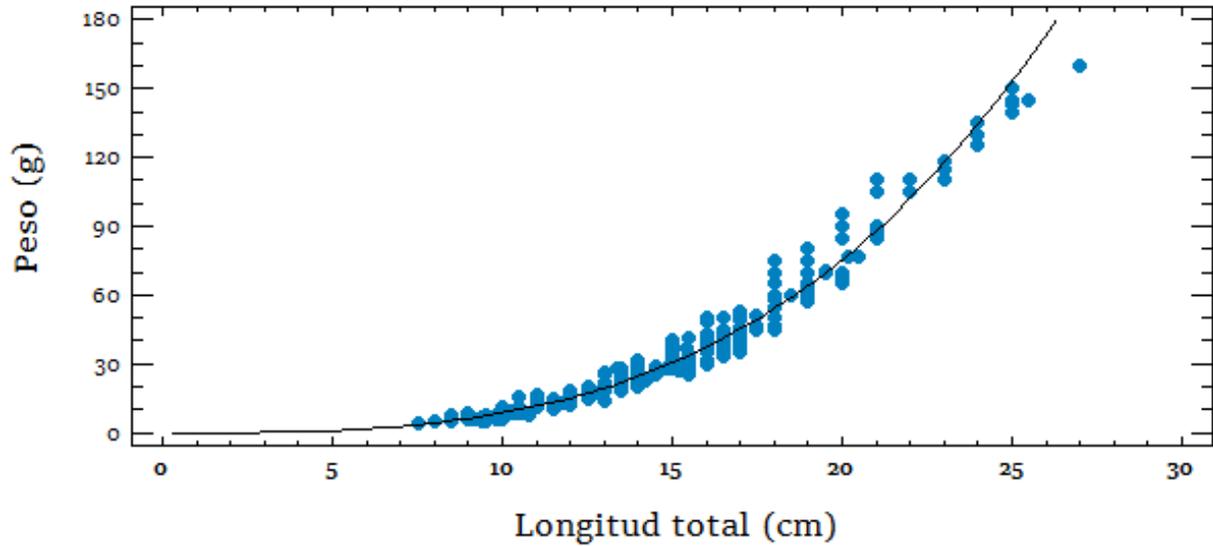


Fig. 25. Relación longitud - peso en *I. punctatus*

Se realizó una prueba t-student para determinar el tipo de crecimiento en contraste al valor de referencia (3) para ambas especies estableciendo las hipótesis  $H_0: b=3$  y  $H_a: b \neq 3$ ; con un valor teórico de tablas para la tilapia de  $t_{(0.95, 323-1)} = 1.6525$  y para el bagre de canal de  $t_{(0.95, 275-1)} = 1.6525$ .

Para el caso de la tilapia, se obtuvo un valor calculado de 1.5454, siendo mayor el valor teórico se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, los organismos de *O. niloticus* presentan un crecimiento con tendencia a la isometría. Para el caso del bagre, se obtuvo un valor calculado de 4.4043, siendo mayor que el valor teórico no se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, los organismos de *I. punctatus* no presentan un crecimiento de tipo isométrico.

## Crecimiento mensual en talla y peso

El crecimiento de la tilapia nilotica en longitud total (Figura 26) presentó diferencias significativas entre los muestreos.

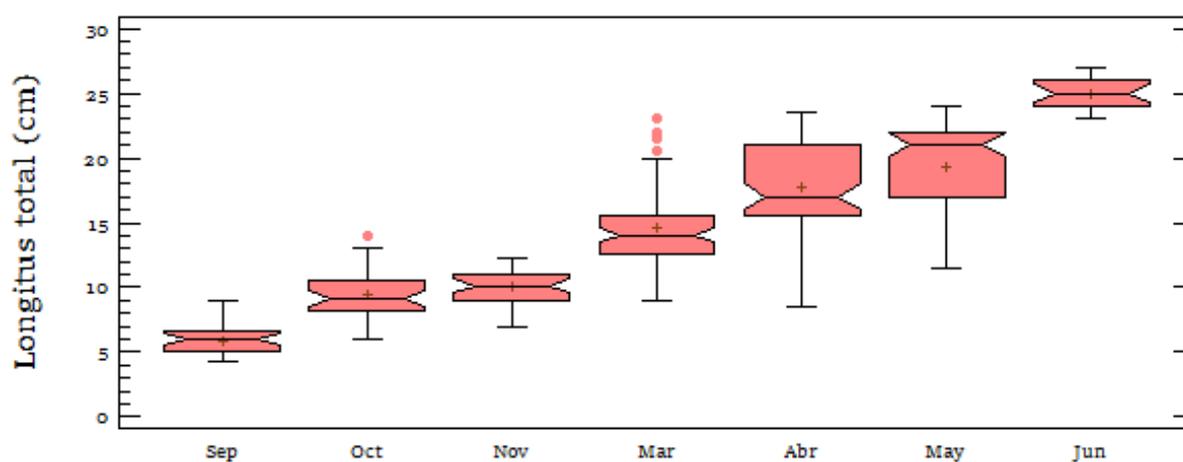


Fig. 26. Crecimiento de longitud total registrado en *O. niloticus*

Analizando los sesgos y curtosis para verificar una distribución normal (Tabla 11), los meses de marzo y mayo presentan valores mayores de -2 y +2, por lo que se tiene evidencia de que no cumple la condición de normalidad.

Tabla 11. Resumen estadístico de sesgo y curtosis para la longitud total en *O. niloticus*

Mes	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
Sep	-0.671249	-0.847217
Oct	-0.643327	-0.284402
Nov	2.8435	1.67907
Mar	-2.34276	-0.954727
Abr	-0.5117	-0.3938
May	1.3308	0.451658
Jun	1.04399	-0.335071
Total	0.251844	-3.5741

Para verificar la homocedasticidad se tiene como hipótesis nula que todas las varianzas son iguales y la hipótesis alternativa es que al menos un par de varianzas

son diferentes, si se considera que valor-P es mayor de 0.05, se tiene evidencia de la igualdad de varianzas.

El valor-P es menor que 0.05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95% de confianza (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba de contraste de varianzas para la longitud total en *O. niloticus*

	Prueba	Valor-P
Levene's	8.47842	1.51296E-8

Aplicando la prueba de Kruskal-Wallis, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza (Figura 27).

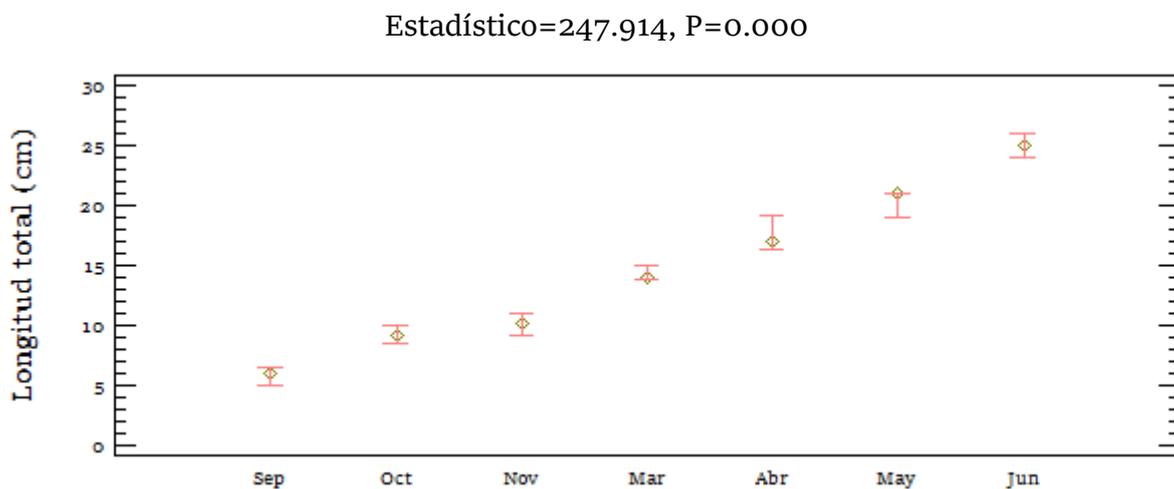


Fig. 27. Diferencia de medianas para longitud total registrado en *O. niloticus*

Aplicando la prueba de medianas de Mood, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95%.

El aumento de la tilapia nilotica en peso (Figura 28) presentó diferencias significativas entre los muestreos.

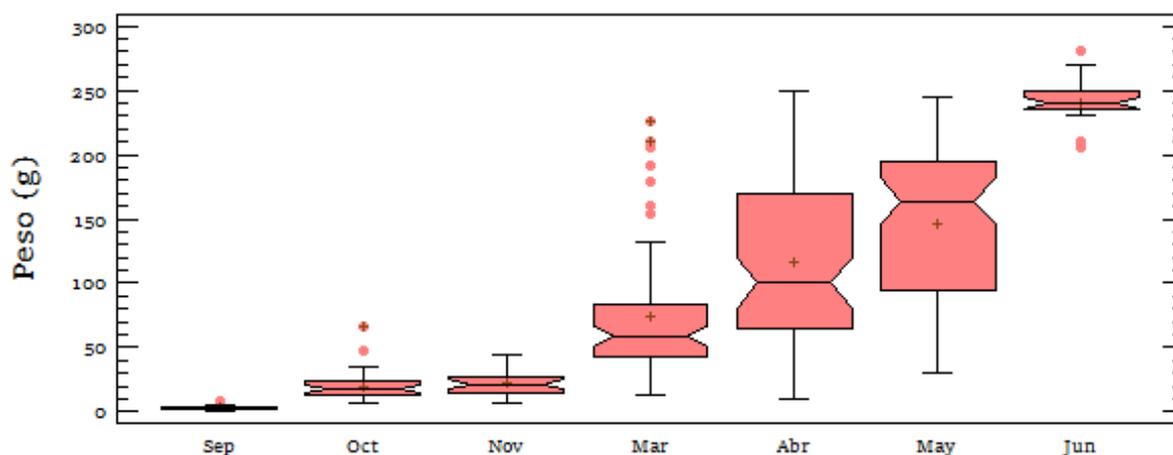


Fig. 28. Aumento en peso registrado en *O. niloticus*

Analizando los sesgos y curtosis para verificar una distribución normal (Tabla 13), los meses de septiembre, octubre y marzo presentan valores mayores de -2 y +2, por lo que se tiene evidencia de que no cumple la condición de normalidad.

Tabla 13. Resumen estadístico de sesgo y curtosis para el peso en *O. niloticus*

Mes	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
Sep	2.57435	2.64655
Oct	5.14583	7.06209
Nov	1.38001	0.470794
Mar	5.11373	3.21016
Abr	1.15513	-1.6509
May	-1.07862	-1.90319
Jun	-0.25622	0.296745
Total	4.86964	-3.15316

Para verificar la homocedasticidad se tiene como hipótesis nula que todas las varianzas son iguales y la hipótesis alternativa es que al menos un par de varianzas son diferentes, si se considera que valor-P es mayor de 0.05, se tiene evidencia de la igualdad de varianzas.

El valor-P es menor que 0.05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95% de confianza (Tabla 14).

Tabla 14. Prueba de contraste de varianzas para el peso en *O. niloticus*

	Prueba	Valor-P
Levene's	21.491	0.000

Aplicando la prueba de Kruskal-Wallis, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza (Figura 29).

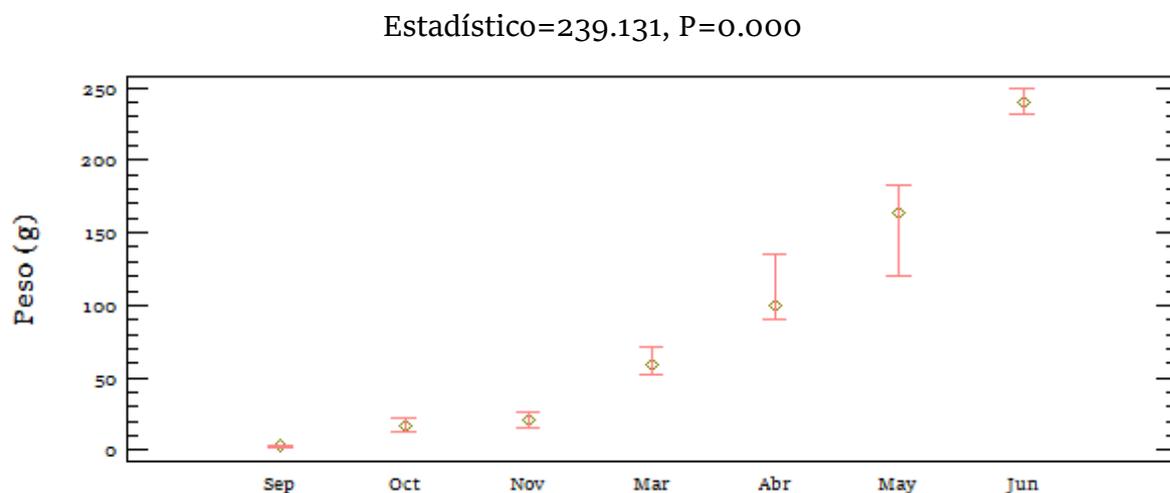


Fig. 29. Diferencia de medianas para el peso registrado en *O. niloticus*

Aplicando la prueba de medianas de Mood, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95%.

El crecimiento del bagre de canal en longitud total (Figura 30) presentó diferencias significativas entre los muestreos.

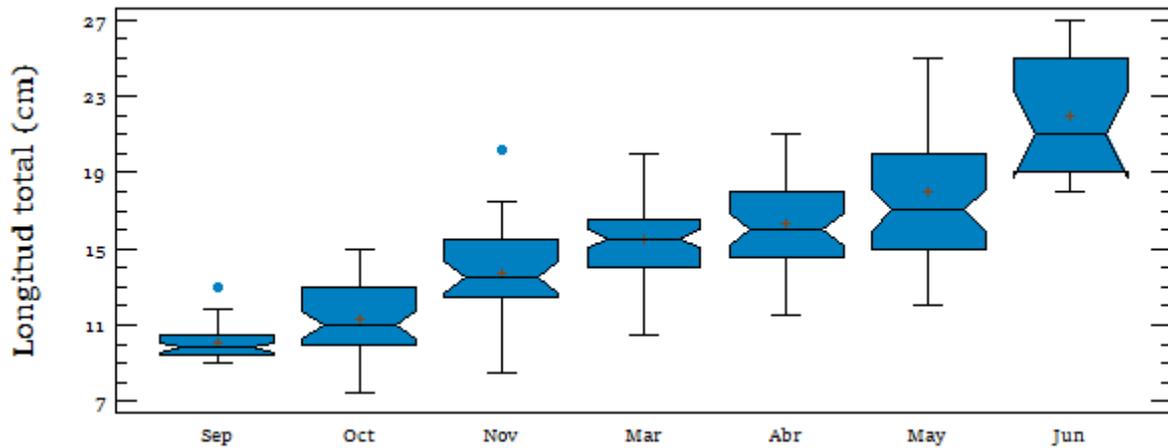


Fig. 30. Crecimiento de longitud total registrado en *I. punctatus*

Analizando los sesgos y curtosis para verificar una distribución normal (Tabla 15), el mes de septiembre presenta valores mayores de  $-2$  y  $+2$ , por lo que se tiene evidencia de que no cumple la condición de normalidad.

Tabla 15. Resumen estadístico de sesgo y curtosis para la longitud total en *I. punctatus*

Mes	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
Sep	3.44093	3.28643
Oct	0.748361	-0.865732
Nov	0.379009	0.135671
Mar	0.093764	-0.611556
Abr	0.475959	-0.726579
May	1.43437	-0.74718
Jun	0.173318	-1.29305
Total	3.29058	0.026219

Para verificar la homocedasticidad se tiene como hipótesis nula que todas las varianzas son iguales y la hipótesis alternativa es que al menos un par de varianzas son diferentes, si se considera que valor-P es mayor de 0.05, se tiene evidencia de la igualdad de varianzas.

El valor-P es menor que 0.05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95% de confianza (Tabla 16).

Tabla 16. Prueba de contraste de varianzas para la longitud total en *I. punctatus*

	Prueba	Valor-P
Levene's	6.9446	7.11188E-7

Aplicando la prueba de Kruskal-Wallis, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza (Figura 31).

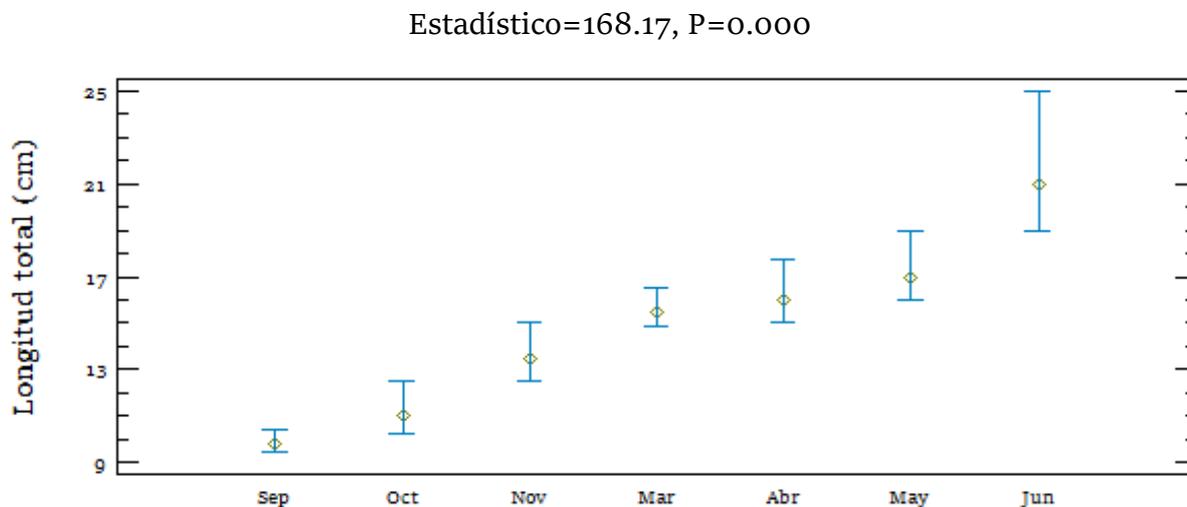


Fig. 31. Diferencia de medianas para longitud total registrado en *I. punctatus*

Aplicando la prueba de medianas de Mood, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95%.

El aumento del bagre de canal en peso (Figura 32) presentó diferencias significativas entre los muestreos, exceptuando el periodo de octubre a noviembre.

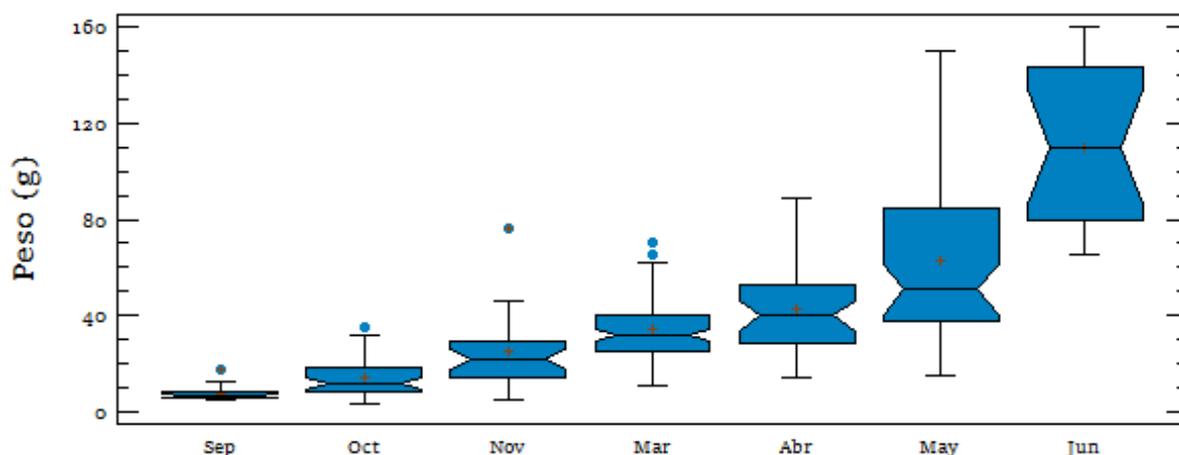


Fig. 32. Aumento en peso registrado en *I. punctatus*

Analizando los sesgos y curtosis para verificar una distribución normal (Tabla 17), los meses de septiembre, octubre, noviembre, marzo y mayo presentan valores mayores de -2 y +2 en los sesgos; y los meses de septiembre y noviembre presentan valores mayores de -2 y +2 en la curtosis, por lo que se tiene evidencia de que no cumple la condición de normalidad.

Tabla 17. Resumen estadístico de sesgo y curtosis para el peso en *I. punctatus*

Mes	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
Sep	5.13648	7.99238
Oct	2.7127	0.32758
Nov	3.40454	3.84968
Mar	2.70714	0.160232
Abr	1.87914	-0.00663659
May	2.86446	0.253212
Jun	0.141146	-1.33216
Total	11.2651	9.56545

Para verificar la homocedasticidad se tiene como hipótesis nula que todas las varianzas son iguales y la hipótesis alternativa es que al menos un par de varianzas son diferentes, si se considera que valor-P es mayor de 0.05, se tiene evidencia de la igualdad de varianzas.

El valor-P es menor que 0.05, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95% de confianza (Tabla 18).

Tabla 18. Prueba de contraste de varianzas para el peso en *I. punctatus*

	Prueba	Valor-P
Levene's	16.0384	0.000

Aplicando la prueba de Kruskal-Wallis, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95% de confianza (Figura 33).

Estadístico=180.758, P=0.000

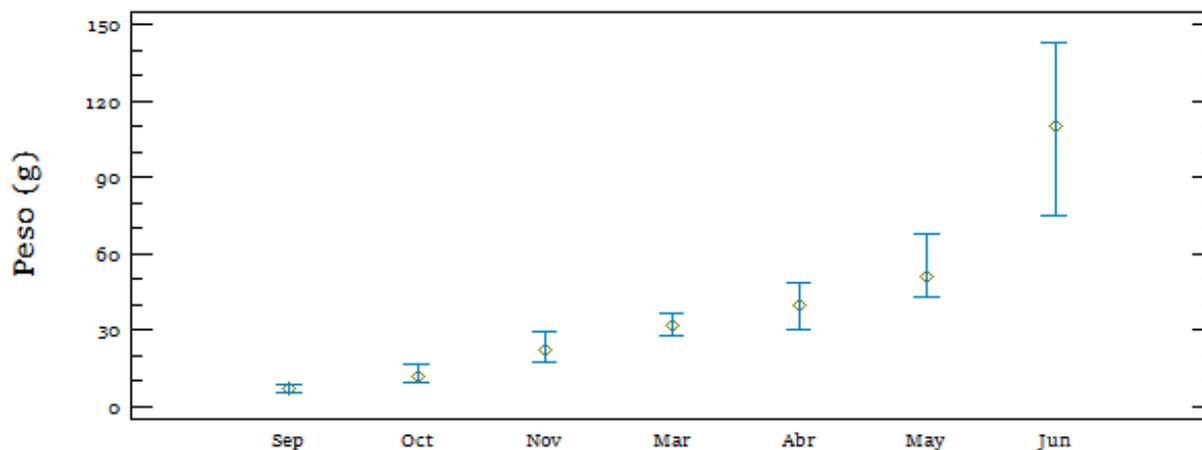


Fig. 33. Diferencia de medianas para el peso registrado en *I. punctatus*

Aplicando la prueba de medianas de Mood, se obtuvo un valor-P=0, puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95%.

## Índices de crecimiento

### Tasa de mortalidad

El bagre de canal fue la especie que presentó mayor tasa de mortalidad en comparación a la tilapia. De los 500 ejemplares de bagre sembrados al inicio se cosecharon 301 (60.2%), esto debido al estrés generado por el desdoblaje y la manipulación para la biometría (Figura 34). De los 300 ejemplares sembrados de tilapia, casi la totalidad se cosechó siendo esto 294 peces (98%), los otros 6 perecieron en el mes de octubre.

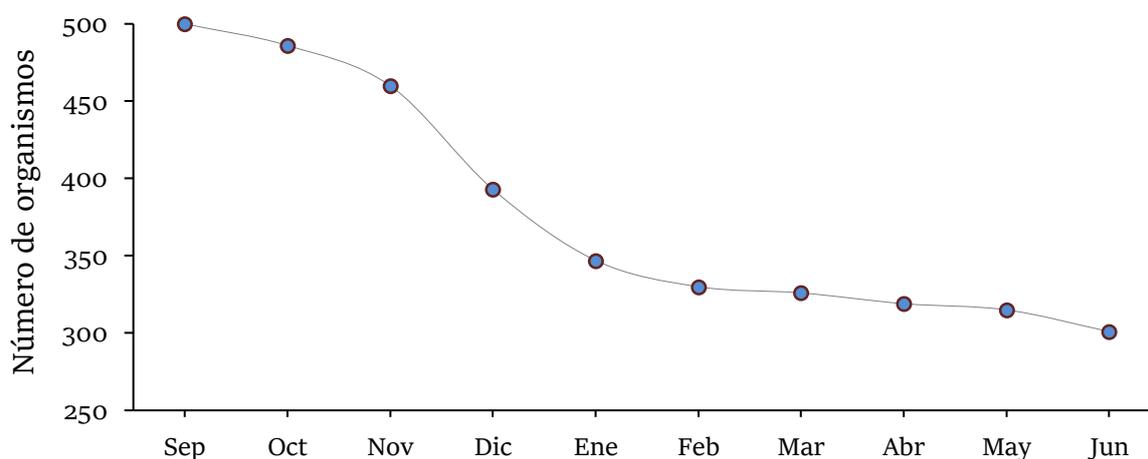


Fig. 34. Tasa de mortalidad de los organismos de *I. punctatus*

### Factor de conversión alimenticia

La tilapia obtuvo valores entre 0.05 y 2.06, siendo el valor más alto en el periodo de septiembre a octubre, con un promedio de 1.0965 (Figura 35) y para el caso del bagre de canal los valores oscilaron entre 0.275 y 1.45, resultando el valor más alto en el periodo de abril a mayo y con un promedio de 0.646 (Figura 36). Cabe destacar que durante el periodo de diciembre a febrero no se realizó la toma de biometría en ambas especies para evitar la manipulación y por consiguiente el estrés que esta pudiera generar en los organismos. Así mismo, este periodo corresponde a los meses más fríos durante el proyecto, los cuales pudieron haber afectado de manera negativa la ingesta de alimento y en consecuencia al factor de conversión.

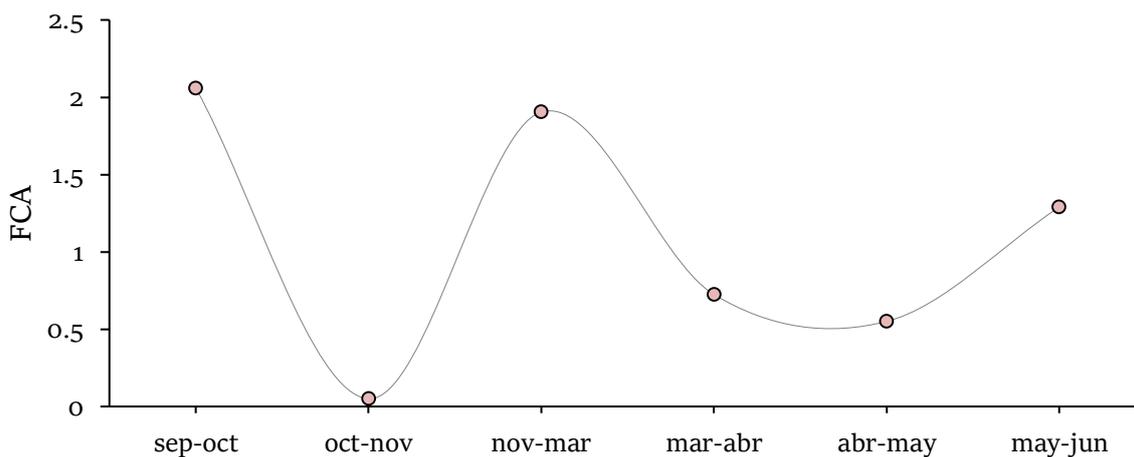


Fig. 35. Factor de conversión alimenticia (FCA) en *O. niloticus*

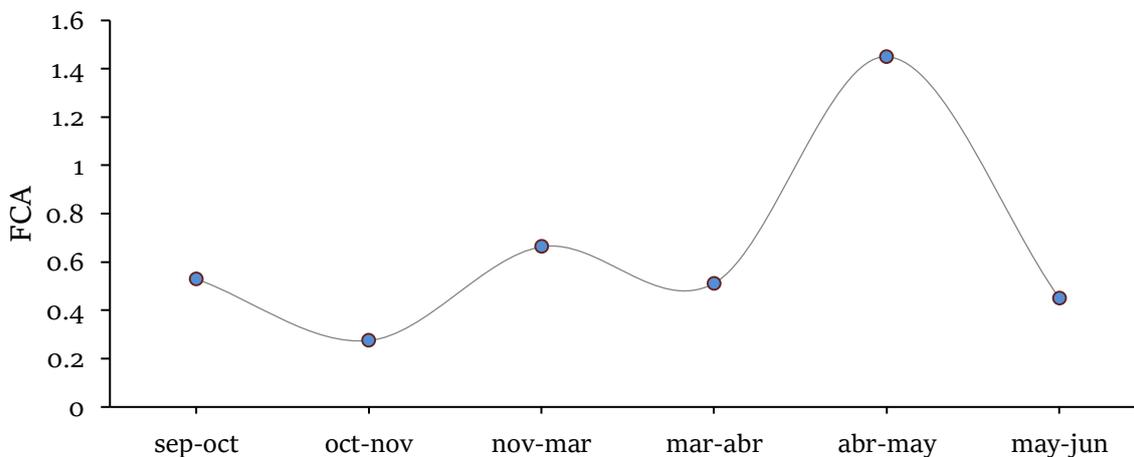


Fig. 36. Factor de conversión alimenticia (FCA) en *I. punctatus*

### Tasa de crecimiento diario

La mayor ganancia en peso diario se obtuvo para la tilapia en el periodo de mayo a junio con  $11.33 \text{ g día}^{-1}$  y el menor valor en octubre a noviembre con un valor de  $0.196.29 \text{ g día}^{-1}$ , el valor promedio fue de  $4.76 \text{ g día}^{-1}$  (Figura 37). Para los valores del bagre (Figura 38), el mayor valor fue de  $4.62 \text{ g día}^{-1}$  en el periodo de abril a mayo y el menor fue en el periodo de octubre a noviembre con  $0.604 \text{ g día}^{-1}$  y un promedio de  $1.947 \text{ g día}^{-1}$ .

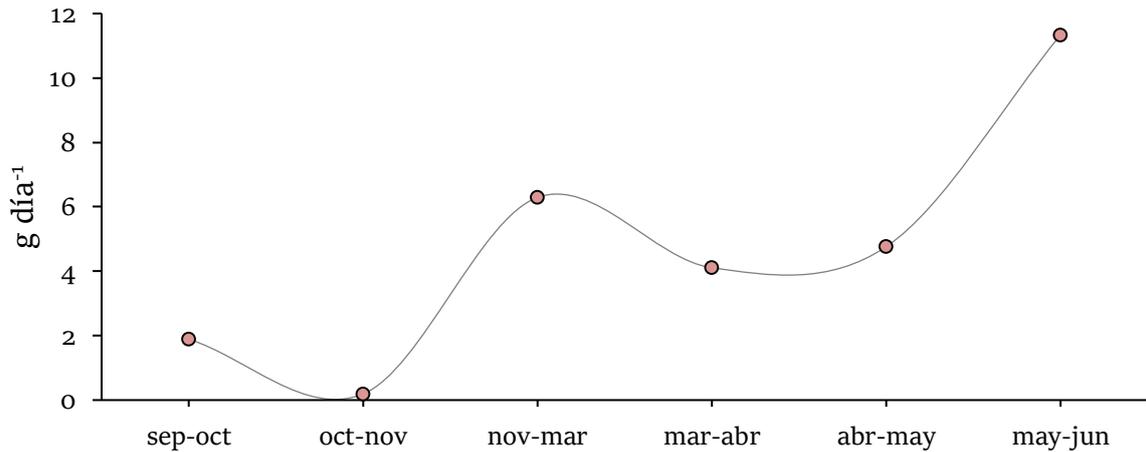


Fig. 37. Ganancia en peso diario en *O. niloticus*

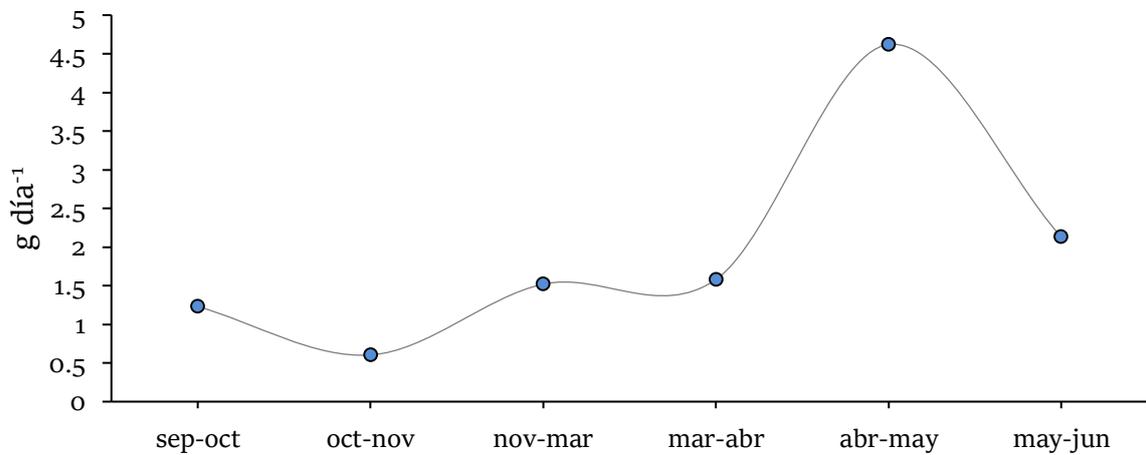


Fig. 38. Ganancia en peso diario en *I. punctatus*

### Tasa instantánea de crecimiento

La tasa instantánea de crecimiento para la tilapia presentó los valores más altos para la longitud (Figura 39) y peso (Figura 40) en el periodo de septiembre a octubre con 1.77 cm y 6.58 g respectivamente y los más bajos en el periodo de noviembre a marzo con 0.27 cm respecto a la longitud y 0.28 g para el peso en el periodo de octubre a noviembre; para el caso del bagre, la longitud (Figura 41) presentó el mayor valor en el periodo de septiembre a octubre con 1.26 cm y el menor valor en el periodo de noviembre a marzo con 0.12 cm, el peso (Figura 42) mostró el

valor máximo en el periodo de abril a mayo con 1.98 g y el valor mínimo en el periodo de octubre a marzo con 0.311 g.

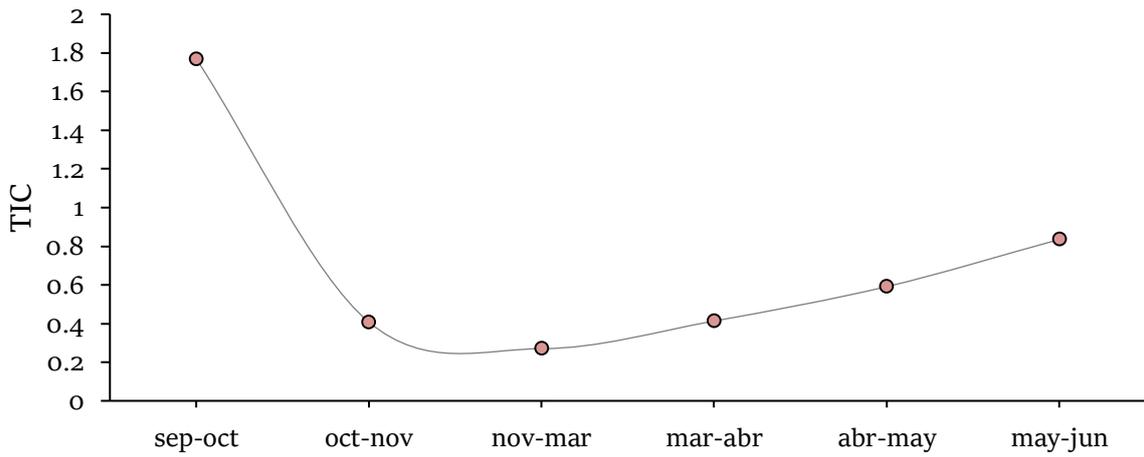


Fig. 39. Tasa instantánea de crecimiento en longitud para *O. niloticus*

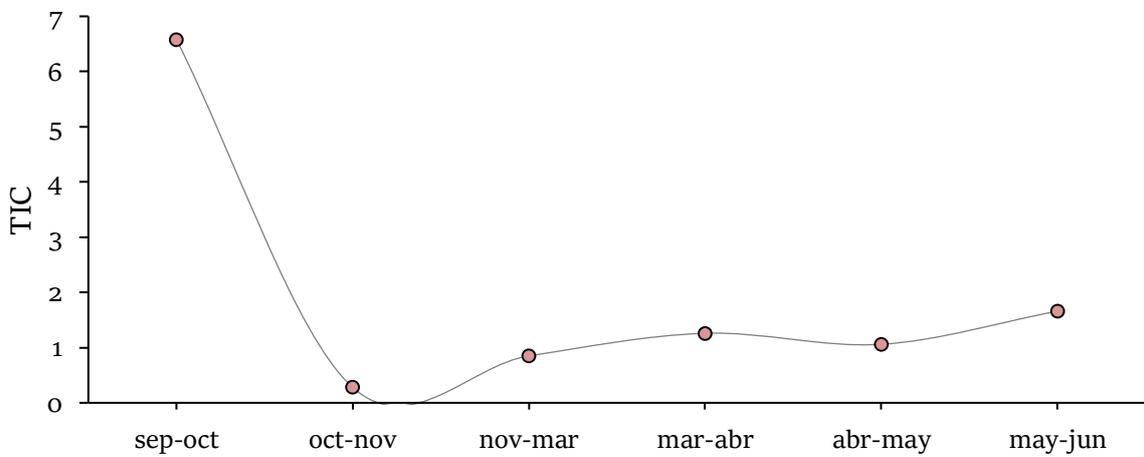


Fig. 40. Tasa instantánea de crecimiento en peso para *O. niloticus*

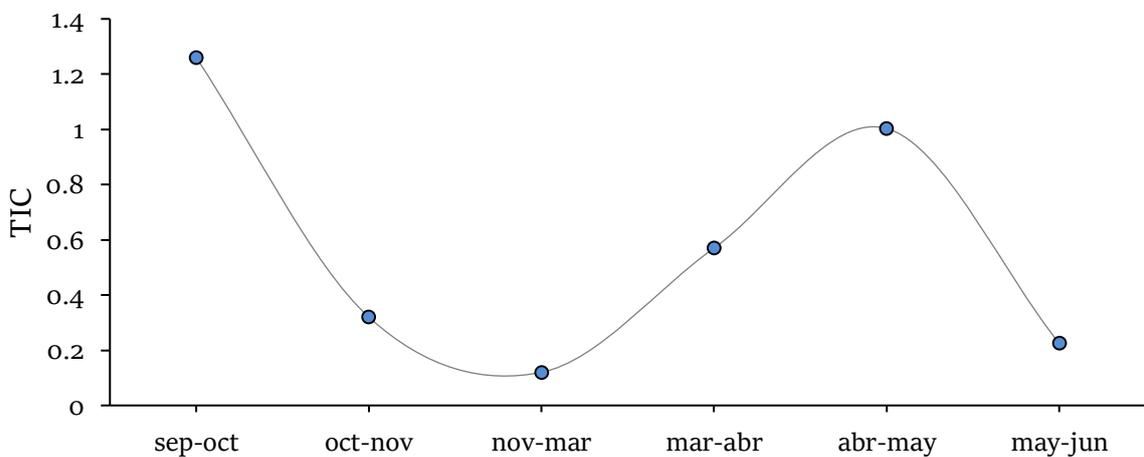


Fig. 41. Tasa instantánea de crecimiento en longitud para *I. punctatus*

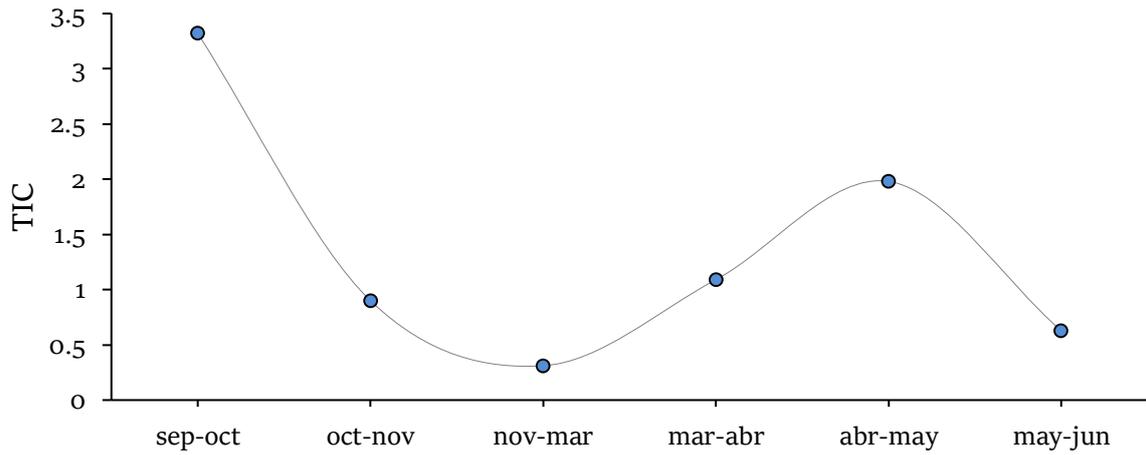


Fig. 42. Tasa instantánea de crecimiento en peso para *I. punctatus*

### Factor de condición

Para el factor de condición se registró que los ejemplares de tilapia se encontraron más robustos en el mes de marzo con un valor de 2.13 (Figura 43) y para los ejemplares del bagre, el valor más alto se registró en el mes de mayo con un valor de 0.70 (Figura 44).

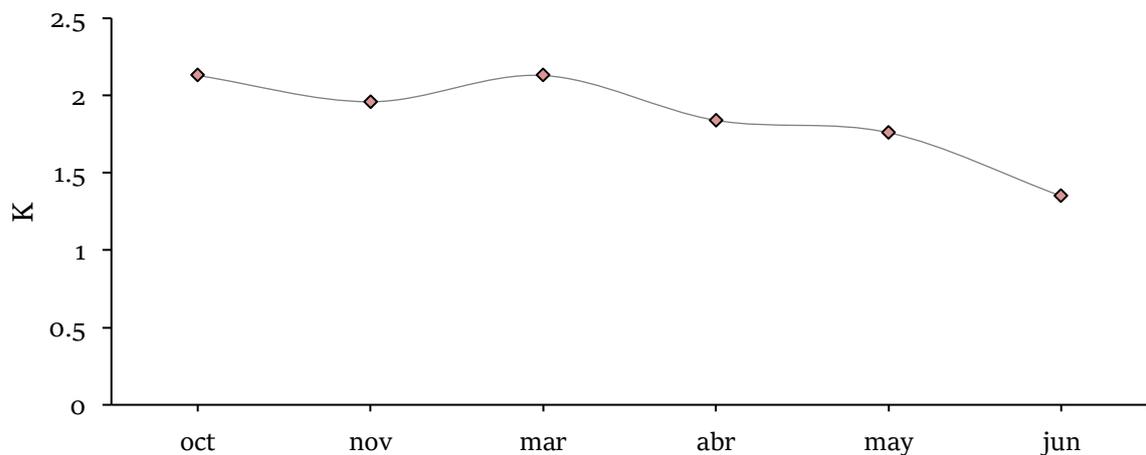


Fig. 43. Factor de condición en *O. niloticus*

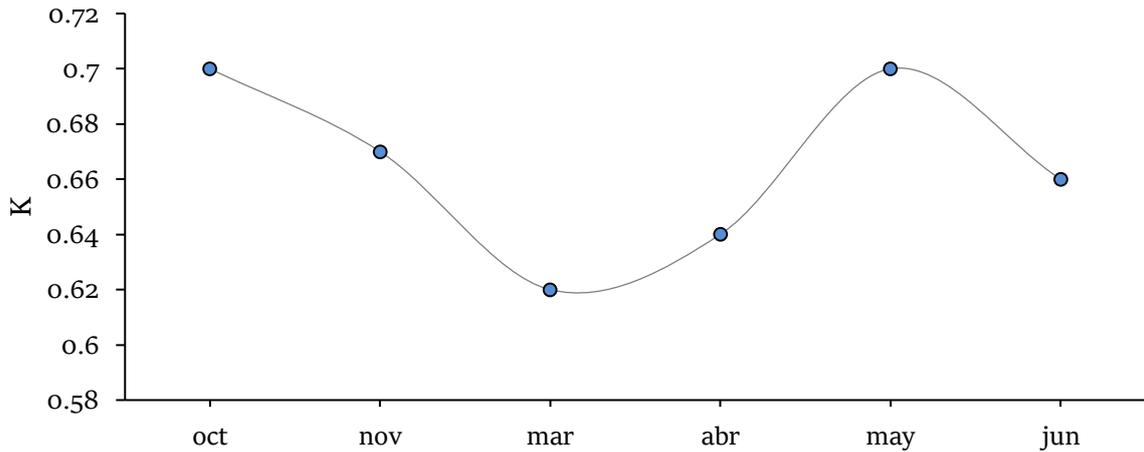


Fig. 44. Factor de condición en *I. punctatus*

#### Factor de condición relativa

Los registros en ambas especies tendieron a una condición positiva en ambos casos, siendo que para la tilapia (Figura 45) el promedio del índice fue de  $0.998 \pm 0.16$  con el valor más alto en marzo de 1.13 y el menor en octubre de 0.76; para el bagre (Figura 46) el promedio fue de  $1.011 \pm 0.07$ , con el valor más alto en junio de 1.08 y el menor en octubre de 0.85.

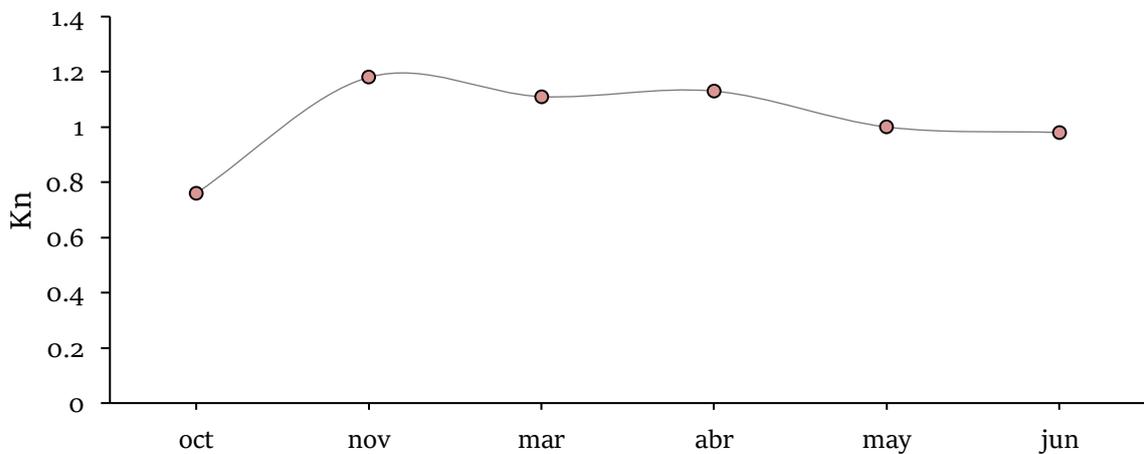


Fig. 45. Factor de condición relativa en *O. niloticus*

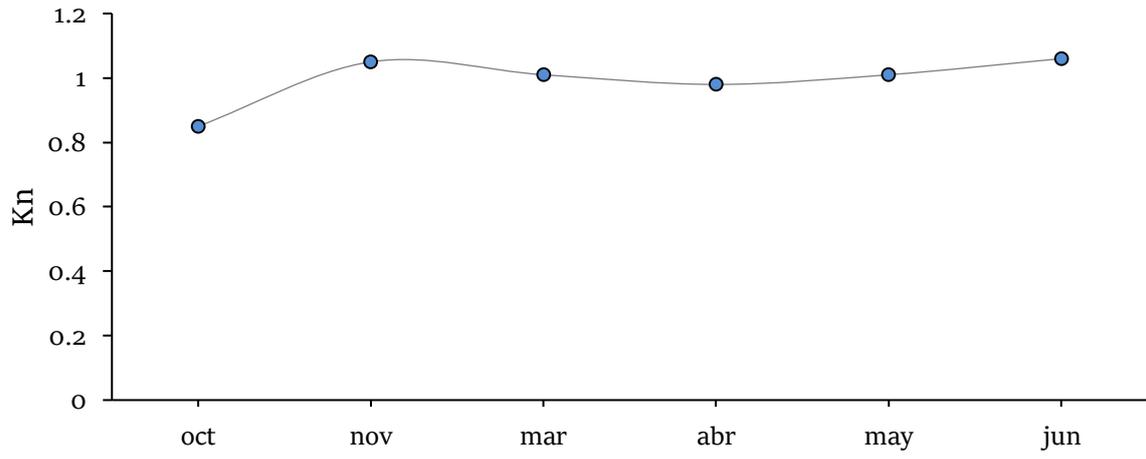


Fig. 46. Factor de condición relativa en *I. punctatus*

# Discusión

En cualquier producción acuícola es importante mantener un manejo adecuado de la calidad del agua, así como la manipulación correcta de los organismos a tratar. El empleo adecuado de herramientas reflejará una cosecha favorable y con rendimientos efectivos para la venta y consumo de los individuos cultivados, es por ello que es necesario establecer el sistema de cultivo que mejor se adapte a las posibilidades del productor, así como especies adecuadas para el aprovechamiento y adaptadas a las condiciones del sistema a trabajar.

Los sistemas de cultivo pueden ser desde sencillos a complejos dependiendo del control que se tenga sobre las condiciones del agua, alimento y la cantidad en producción de organismos a desear; este trabajo fue realizado en un sistema de cultivo semi-intensivo, siendo este el tipo de cultivo mayormente empleado por productores que no tienen acceso económico para grandes inversiones (Saavedra-Martínez, 2006), además del control que el productor tendrá sobre los índices de calidad de agua y el manejo del alimento dado a los organismos, otra razón por la cual el sistema semi-intensivo es adecuado para el manejo de este trabajo dado que en un sistema de cultivo intensivo, el alimento representa el 50% del costo de producción (El-Sayed, 2003) y el alimento suministrado debe ser el adecuado y con una calidad aceptable, así como la cantidad necesaria para el crecimiento (Arredondo *et al.*, 1994) y asimilación de este.

El máximo aprovechamiento de un sistema de producción también va relacionado en función de las especies a trabajar, un sistema de policultivo debe considerar la dinámica de desenvolvimiento y características adecuadas para el desarrollo de los peces. Considerando esto, de las especies utilizadas en este proyecto, ambas presentan parámetros de tolerancia en el ambiente parecidos en los que su desarrollo se verá favorecido, así como hábitos alimenticios que no se superponen y evitan la competencia, siendo la dinámica del bagre en la profundidad del ambiente y

la de la tilapia ocupando la columna de agua. Según Milstein (1992) la combinación de parámetros ecológicos y densidades de siembra adecuadas favorecerán el éxito en producción del cultivo en sistemas semi-intensivos, por ello se debe tomar en cuenta la cooperación de estas en el ambiente refiriéndose al alimento y condiciones ecológicas.

Por los hábitos alimentarios, la dinámica ecológica y los parámetros en calidad del agua hacen a estas dos especies compatibles para el proyecto de policultivo. En un trabajo similar, realizado por Garza (1990) destaca que el éxito del uso de policultivos entre bagre de canal y tilapia radica en la alimentación, siendo que se manejaron sistemas fertilizados y no fertilizados obteniendo resultados satisfactorios para la engorda de ambas especies, favorecidos por la fertilización y la productividad generada por esta; mientras que la tilapia se ubica en la columna de agua así como en la superficie consumiendo el alimento y las partículas que se hunden son aprovechadas por el bagre de canal que de igual forma tiene una preferencia por el bentos. Trejo-Lgueravide (2017) agrupó el cultivo de bagre y tilapia por tener técnicas de producción y valor de venta similar en un análisis de cultivos en Tamaulipas, resaltando que incluso algunos de los productores que cultivan bagre también cultivan tilapia.

Guzmán & Lugo (2015) contemplaron al bagre y la tilapia como clave para desarrollar una estrategia productiva-comercial acuícola en México de acuerdo con las condiciones ambientales, basado en las necesidades de alimentación y nutrición que requiere la población. Mientras que la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos de México (SEDARH) apoyó el cultivo de bagre y tilapia en un 10% de la superficie, generando un avance productivo de un valor mayor a los US\$ 1,9 millones en el estado de San Luis de Potosí, lo que generó un incremento en la producción de tilapia y bagre (AQUA, 2011). Sin embargo, López-Ibarra (2011) menciona que existen problemas de baja rentabilidad a nivel del productor primario en ambas especies, siendo que el bagre se comercializa principalmente como organismo vivo y la tilapia después de la pesca es comercializada sin proceso alguno.

Para fines prácticos, se muestra una tabla de valores físicos y químicos permisibles y deseados en acuicultura de manera general siendo que dichos valores también dependen de la especie a trabajar, tomado de Alatorre (2007).

Tabla 19. Rango de valores permisibles y deseados en variables de calidad de agua piscícolas

	Criterio permisible	Criterio deseado
Temperatura	Variable	Variable
Oxígeno disuelto (OD)	> 2 mg·l <sup>-1</sup>	> 5 mg·l <sup>-1</sup>
pH	6.5 - 9	7 - 8
Amonio (TAN)	0.5 mg·l <sup>-1</sup>	< 0.01 mg·l <sup>-1</sup>
Nitritos	> 10 mg·l <sup>-1</sup>	Virtualmente ausente
Nitratos	> 300 mg·l <sup>-1</sup>	Virtualmente ausente
Dureza	> 60 mg·l <sup>-1</sup>	100 - 250 mg·l <sup>-1</sup>
Alcalinidad	> 20 mg·l <sup>-1</sup>	75 - 200 mg·l <sup>-1</sup>
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	> 10 mg·l <sup>-1</sup>	Virtualmente ausente
Solidos totales suspendidos	40 mg·l <sup>-1</sup>	< 25 mg·l <sup>-1</sup>
Transparencia (disco de Secchi)	> 10 cm	> 40 cm

Los parámetros que se presenten dentro del sistema afectan de manera directa al crecimiento y rendimiento de los organismos. La temperatura es un factor importante en esto, siendo que esta propicia al desarrollo de los organismos, siendo que algunas especies de peces aumentan su talla en ambientes con aguas cálidas y otras especies lo logran en aguas con temperaturas más frías, de esta manera, Patiño (1986) publicó una obra como guía para el cultivo de especies clasificándolas como especies de aguas frías, aguas templadas y aguas cálidas, favoreciendo el manejo de los peces en un entorno que les permita el mejor desarrollo y adaptación. Complementario a esto, Wedler (1998) clasifica al bagre de canal y la tilapia del Nilo entre las especies de peces más promisoras para la acuicultura en el neotrópico, siendo el bagre de canal ubicando en México y Costa Rica; y a la tilapia del Nilo en el centro y sur de América, además de que Laborde (2000) indica que la etapa de engorda depende de las condiciones climáticas, así como del manejo de la población.

La diferencia de temperatura del agua entre ambos estanques como resultado del acondicionamiento de tipo invernadero es un factor a destacar pues dicha estructura mantuvo la temperatura del estanque circular 2 arriba en comparación del estanque circular 1. Si bien, la temperatura de ambos estanques osciló entre los 18 a los 25.5°C, el periodo de noviembre a febrero marcó un punto crítico para el crecimiento de ambas especies, pues el rango óptimo para dichas es sobre los 20°C y para el caso del bagre de canal, en temperaturas menores a los 18°C su crecimiento se reduce; mientras que, para el caso de la tilapia, esta desventaja se presenta de los 15°C a temperaturas inferiores. La principal razón del acondicionamiento en el estanque circular 2 se realizó precisamente por esta situación, pues se detiene su crecimiento a temperaturas inferiores a 15°C, sin embargo, se toma en cuenta que el valor de crecimiento no fue registrado durante el periodo de noviembre a marzo para evitar así una manipulación en los organismos y conllevar a una nula alimentación por estrés.

La visibilidad del disco de Secchi lleva una relación estrecha al nivel de los procesos de eutrofización del sistema, siendo así que la penetración de luz se verá afectada por la cantidad de partículas suspendidas (fitoplancton, materia orgánica, partículas inorgánicas) presentes en la columna de agua. La fertilización del agua es un factor que provoca la reducción de visibilidad, la cual, manteniéndose en rangos óptimos resulta en una buena producción y beneficios económicos (Waidbacher *et al.*, 2006). A pesar de que el estanque circular 2 contaba con agua ocupada de un cultivo anterior, la fertilización en el estanque circular 1 logró mantener los parámetros similares entre ambos, resultando en los límites adecuados para las especies. La tilapia debe de presentarse en ambientes con una visibilidad de hasta 30 centímetros de profundidad (Saavedra-Martínez, 2006) y el bagre de canal no tiene una particularidad en los intervalos de transparencia pues no tiene muy desarrollada la vista y captura su alimento por medio del olfato y sonido (Escamilla, 1986) constituyendo una buena condición de visibilidad en los estanques. Sin embargo, se ha demostrado que si la visibilidad de disco de Secchi consta de valores menores a los 20 cm se presenta un problema en el abatimiento de oxígeno (de la Lanza &

Arredondo, 1990). García (2019) menciona que la visibilidad del disco de Secchi también puede ser afectada por la composición del alimento racionado a los organismos, presentando valores similares de visibilidad suministrando el alimento TETRAPEREZ con un nivel de proteína de 27%, mientras que Jamet (2017) presentó valores similares a los obtenidos después de realizar alguna fertilización en el estanque de producción.

El oxígeno disuelto se mantuvo por encima de los 12 mg L<sup>-1</sup>, siendo este un gas indispensable para los peces. Los niveles no mostraron ser un problema para el desarrollo de los organismos; el rango mínimo para el bagre se presenta en los 5 mg L<sup>-1</sup> mientras que la tilapia en los 2 mg L<sup>-1</sup>. Al ser peces de climas cálidos, los requerimientos de oxígeno deben de ser superior a los 4 mg L<sup>-1</sup> (Wedemeyer, 1996), a pesar de que estos niveles son altos y parecen óptimos, en varias situaciones puede ser desfavorable la sobresaturación provocando la conocida enfermedad como “burbuja de aire” (Boyd, 2015). Dichos niveles se mantuvieron por la fertilización, los recambios de agua realizados en los meses de marzo y junio y la productividad primaria, además también debe tomarse en cuenta que estos datos fueron tomados antes de hacer la biometría y cosecha de peces, en una hora cercana al medio día y a una profundidad de 50 cm. La relación inversa del oxígeno vs. la temperatura se presentó en ambos estanques, siendo a partir del mes de febrero al ir aumentando los datos registrados de temperatura en el agua, el nivel de oxígeno disuelto disminuyó, sin embargo, no disminuyó del rango de sobresaturación.

Los niveles de oxígeno y visibilidad de disco de Secchi obtenidos durante el proyecto son similares a los obtenidos por Hazrat & Caguan (2007), que, en un trabajo de 8 estanques, determinaron que la visibilidad y el oxígeno disuelto no presentan una relación significativa, tomando en cuenta que en la columna de agua se encuentran partículas inorgánicas que no permiten la penetración de luz y por ende la fotosíntesis para la producción de oxígeno. Entre rangos menores de visibilidad del disco de Secchi, el nivel de oxígeno disminuye destacando la turbidez del agua sobre los procesos fotosintéticos.

La saturación de oxígeno presentó valores adecuado para ambas especies, sin embargo, en el mes de septiembre y el periodo de enero a mayo el estanque circular 1 presentó niveles inferiores al óptimo para el desarrollo del bagre de canal que es de 100% según Nightingale (1976), más no perjudiciales. En el caso del estanque circular 2, el mes de noviembre fue la única ocasión en la que se presentó un valor menor al 100%. Boyd (1979) menciona que debido a la elevada afinidad entre el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno pueden considerarse como la misma variable; Mallya (2007) menciona que la saturación de oxígeno tiene un efecto en el crecimiento y el índice de conversión alimenticia en peces, siendo que entre un rango de 80% a 120% esta relación está ampliamente favorecida. Los resultados del presente proyecto son valores superiores a los presentados por Jamet (2017), que obtuvo valores por arriba del 100% de saturación únicamente la mitad de su proyecto, pero con una media de 85% en la duración total de su cultivo.

Los valores de pH resultaron en un entorno alcalino para ambos estanques. Mientras que el bagre tiene niveles de tolerancia de pH de 6.5 a 8.5 y la tilapia de 6.5 a 9.5, el valor máximo presentado fue de 10.64 y el mínimo de 9.1 superando dichos rangos lo cual puede ser una limitante para el crecimiento de los peces y provocar la mortalidad en estos (Soderberg, 2017); los valores altos en pH presentados en este trabajo pueden ser el resultado principalmente del encalado y también por la fertilización realizada al inicio del proyecto, así como a los altos niveles de fitoplancton. Arredondo (1986) menciona que los valores altos o bajos del pH afecta a los órganos de los peces, principalmente dirigido a las branquias, así como el estrés en los organismos, aunque en el presente proyecto no se encontraron ejemplares con daños físicos notables, podría considerarse que el alto nivel del pH fue una causa de la alta mortalidad en el bagre (Wurts & Durborow, 1992).

Los valores de alcalinidad presentaron una tendencia constante con el pH, siendo así que un nivel óptimo de alcalinidad va a amortiguar las fluctuaciones del pH. Los niveles presentados en este trabajo muestran un valor adecuado para el desarrollo de los peces y la calidad de agua de los cultivos, siendo que en estanques

con buenas cosechas los valores de alcalinidad fluctúan entre 200 y 300 mg L<sup>-1</sup> y aunque ambos estanques se mantuvieron por debajo de dicho intervalo, puede ser considerada una calidad de agua con alta productividad (Blancas *et al.*, 2011). La diferencia entre los valores de alcalinidad en ambos estanques puede deberse al uso de cal en el estanque circular 1 al inicio del estudio lo cual lo mantuvo en niveles más altos y aunque menos constantes que en el estanque circular 2.

Respecto a los valores de dureza total y dureza de calcio, en esta ocasión es el estanque circular 2 el que se encuentra con valores superiores. SENASICA (2008) indica que valores de hasta 350 mg CaCO<sub>3</sub>·L<sup>-1</sup> de dureza total son óptimos para el crecimiento adecuado de los peces. Los valores promedio del estanque circular 2 superaron este nivel y quizá es debido al uso de agua usada para un cultivo previo, pues esta tiende a aumentar con el tiempo gracias al alimento suministrado y la liberación de calcio provocada por este (Cavalcante *et al.*, 2014). En la clasificación de agua de la OMS (2004), se puede considerar como *dura* para el estanque circular 1 y *muy dura* para el estanque circular 2.

A pesar de que aguas clasificadas como duras mantienen una buena capacidad para estabilizar los cambios en el pH (Alatorre, 2007) y tienden a ser más productivas (Arredondo & Ponce, 1998) estos valores tienden a afectar el crecimiento y presentan efectos negativos en los organismos para su desarrollo (Cavalcante *et al.*, 2014).

La alcalinidad total está definida principalmente por la concentración de los iones carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) y bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>); por su parte, la dureza total está definida por la concentración de cationes divalentes (principalmente calcio y magnesio), aunque usualmente la concentración de la dureza de calcio es considerada más importante que la dureza total debido a su importancia del calcio en la fisiología de los peces (Cavalcante *et al.*, 2014). La alcalinidad, el pH y la dureza de calcio se verán afectados por el uso de carbonatos de calcio durante el manejo de encalado en los estanques (Cavalcante *et al.*, 2012). La alcalinidad total y la dureza total poseen

comportamientos similares entre si para cada estanque, mientras en el EC2 la alcalinidad total y la dureza total se mantienen constantes sin demasiadas fluctuaciones, el comportamiento de estos parámetros en el EC1 aumenta o disminuye simultáneamente. Wurts & Durborow (1992) atribuyen dicho comportamiento al uso de cal, pues la tendencia de la alcalinidad total y la dureza será similar e incluso idéntica gracias a este manejo; aunado es esto, niveles bajos de la dureza de calcio resultan bajos niveles de calcio. No necesariamente altos niveles de dureza total reflejan altos niveles de dureza de calcio, sin embargo, con el uso de la cal, es correcto asumir que altos niveles de dureza reflejan altos niveles de calcio, comportamiento que se refleja al inicio del proyecto por el uso del encalado, durante el transcurso de este, el nivel de dureza de calcio comienza a descender, siendo adjudicado a la capacidad de los peces de absorberlo del agua.

Los sólidos disueltos totales siguieron la tendencia de la conductividad a lo largo del estudio, sin superar los  $1,000 \text{ mg L}^{-1}$  recomendado por Sipauaba & Boyd (2003) para proteger la vida acuática en aguas dulces. Hasan *et. al.* (2014) indican que las variaciones y los estadios de tilapia soportan diversos rangos de salinidad, pero en el caso particular de *O. niloticus* no debe excederse los  $20 \text{ g L}^{-1}$  (Hernández & Rivas, 2012). Respecto al bagre de canal, Allen & Avault (2011) reportaron que estos organismos toleran salinidades por encima de los  $12 \text{ g L}^{-1}$ .

Los nutrimentos o nutrientes presentes en el agua del cultivo son también indicadores de la calidad de esta, siendo así que de entre los elementos químicos que pueden encontrarse en los estanques, el carbono, el nitrógeno y el fósforo son lo que serán requeridos en mayor cantidad (Ladino-Orjuela, 2011), de los cuales, 85% del fósforo, 80-88% del carbono y 52-95% del nitrógeno son el resultado de los residuos alimenticios así como el metabolismo de los peces como excreción y respiración cultivados (Iturbide, 2008).

Los iones de nitrito encontrados en el presente trabajo muestran datos imperceptibles llegando a ser menores de  $0.0035 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0.0062 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  presentado

en el estanque circular 1 y 2 respectivamente; el nitrito es un compuesto tóxico e incluso letal para los organismos y aunque esto varía en los niveles de concentraciones entre las especies de peces termina siendo un contaminante en el sistema (Espina & Alcaraz, 1995) siendo producido por la descomposición microbiana del alimento no consumido y de las excretas (Ingle de la Mora *et al.*, 2003) y dicha toxicidad ha sido demostrada en los alevines y peces juveniles, siendo así que valores superiores a  $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  son considerados como tóxicos para la mayoría de las especies de peces cultivados (Balbuena, 2011), entre ellos el bagre de canal (Instituto Nacional de Pesca, 2018) y para el caso de la tilapia, concentraciones mayores a  $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  son consideradas como factores dañinos (PIC Tilapia, 2012). Siendo así que no mostraron una actividad tóxica hacia los ejemplares y el cultivo.

Los iones de nitrato, a pesar de estar usualmente presente en mayores concentraciones de nitrito y el amonio, representan menos toxicidad para los peces, esto debido a su baja permeabilidad branquial (Camargo *et al.*, 2005); para el presente, los valores del nitrato mostraron un promedio de  $0.063 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0.047 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para los estanques circulares 1 y 2, respectivamente. Monsees *et al.* (2017) reportan que a excesivas concentraciones de nitrato, los ejemplares de tilapia reducen su crecimiento afectando al cultivo, para sus resultados el límite máximo de este ion es de  $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  estando muy por encima de los valores obtenidos en este trabajo, sin embargo Bautista & Ruíz-Velazco (2011) reportan que valores de mayores de  $80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  llegan a ser tóxicos para los peces; los ejemplares del bagre no detienen su crecimiento a los  $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  esto reportado por Chainark & Boyd (2010) en un experimento donde se expusieron a los peces en estas concentraciones y no hubo diferencias respecto al control y las tasas de crecimiento se mantuvieron regulares, mientras que Knepp & Arkin (1993) reportaron que los ejemplares de bagre de canal toleran hasta los  $90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  manteniendo un crecimiento adecuado. De igual manera, no presentaron acción negativa contra el cultivo.

El ion amonio se presenta como una importante fuente de nitrógeno durante la síntesis de proteínas en los peces, siendo así muy importante para los productores.

Para los peces, valores superiores a los  $0.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  afectan el crecimiento, mientras que cantidades superiores a los  $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  son consideradas tóxicas e incluso letales para estos (Roldán & Ramírez, 2008). De acuerdo a Balbuena (2011) la toxicidad de este ion va relacionada con el pH, siendo así que a mayor pH se encontrará un mayor valor de amonio gaseoso y una de las razones de su alta concentración es el bajo recambio de agua en el cultivo, lo cual se puede apreciar en el estanque circular 2, el cual presentó valores mayores de amonio (hasta  $0.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en comparación al estanque circular 1 ( $0.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) como valor máximo, sin embargo el valor de pH fue mayor en el estanque circular 1 y como se había mencionado, esto se debió a la cal aplicada en el interior del estanque al inicio del proyecto y no realizar un lavado para amortiguar los cambios realizados por la presencia de cal. Tener un nivel alto de amonio también resulta en la baja alimentación de los peces y una alta mortalidad por esta falta de ingesta e incluso el debilitamiento inmunológico haciendo propensos a los peces a contraer enfermedades que de igual manera ponen en riesgo su vida (Kubitza, 2016) y por ende la producción. El-Shafai *et al.* (2006) reportan que es recomendable tener valores menores a  $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para el cultivo de tilapia dado que en concentraciones mayores provoca efectos negativos en el desarrollo y crecimientos de estos peces, especialmente en los primeros meses y cuando aún son alevines. El Instituto Nacional de Pesca (2018) reporta que para el bagre de canal es adecuado mantener valores de amonio menores a  $1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  siendo así que sólo se podrían suponer que, con los resultados en este proyecto, la tilapia puede tener una limitante en el crecimiento con relación a este ion.

Para la acuicultura los valores de fósforo operan como un nutriente del crecimiento y el desarrollo de algas, siendo que entre más abundante se encuentre el ion fosfato en el sistema, estará disponible para el crecimiento y producción de las algas, relacionado con esto, cuando comienza la descomposición finalmente se conduce a un proceso de eutrofización en el cuerpo de agua (Baird, 2001). Una fuente de fosfatos se debe a la presencia de fertilizantes orgánicos utilizados durante el proyecto, así como en el estanque circular 2 el manejo de agua previa y su estado avanzado de eutrofización y aunque no superó los valores del estanque circular 1 el

hecho de no haber vuelto a fertilizar dicha agua, es capaz de mantener valores cercanos de fósforo total y ortofosfatos. Según Arredondo & Ponce (1998), el valor de ortofosfatos en cuerpos fertilizados es de  $20\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , en el presente estudio los resultados promedio para ambos estanques fueron elevados respecto al valor sugerido ( $20\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ); mientras que para la relación del fósforo total, este es considerado adecuado con un promedio de  $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en estanques fertilizados (Arredondo & Ponce, 1998) y el nivel de ortofosfatos es menor al fósforo total, representando solo una fracción de este ion (Boyd, 1971); siendo así que el fósforo total en el presente trabajo se encuentra por debajo del promedio, sin embargo no es una limitante para la explosión fitoplanctónica que se presentó en el proyecto, siendo el resultado de esto la disminución en la visibilidad del disco de Secchi con el paso del tiempo resultado de la fertilización y el suministro de alimento balanceado que pudo no haber sido consumido por los peces, además Boyd (1971) menciona que el fósforo es asimilado en los estanques, siendo que las concentraciones de fósforo declinan debido a la acción fitoplanctónica, macrofitas, bacterias y la absorción al sedimento.

El uso de alimento natural en todo cuerpo de agua utilizado para fines productivos es una base primordial para el éxito de este, siendo el tipo de cultivo que se maneje la complementación con alimento balanceado propiciará a un mejor desarrollo de los organismos; además el alimento natural (fitoplancton y zooplancton) es utilizado como indicadores en la calidad de agua.

Así como los parámetros físicos y químicos afectan directamente a los peces cultivados, lo harán de la misma manera con el plancton pues se provocan cambios en la dinámica ecológica (Quiroz-Castelán *et al*, 2006) resultando así en la ausencia o presencia de ciertos grupos algales y zooplanctónicos, además de la abundancia de estos en cualquier sistema acuático; aunado a esto, el uso de fertilizante contribuye en gran medida al desarrollo de plancton (Huet, 1975). No se puede excluir al estudio de las comunidades micro algales en las investigaciones de proyectos hidrobiológicos siendo que estas comunidades ayudan al estudio de la calidad de agua (Moreno, 2003). Otro aspecto importante acerca de la presencia de los organismos algales es la

posibilidad de conocer el estado trófico del cuerpo de agua, siendo así que Margalef (1983) mencionó los límites para dicha cualidad, resultando que abundancias de  $10^2$ - $10^4$  cel·ml<sup>-1</sup> para los cuerpos de agua eutrofizados,  $10^4$ - $10^5$  cel·ml<sup>-1</sup> para los cuerpos de agua muy eutrofizados y los cultivos, y  $10^6$ - $10^8$  cel·ml<sup>-1</sup> para los cultivos en condiciones especiales. Para el presente trabajo se puede considerar ambos estanques con una clasificación de agua muy eutrófica y para las densidades deseables de cada grupo de algas varía resultando que el grupo de clorofitas debe de estar arriba de los 50,000 cel·ml<sup>-1</sup>, en las cianobacterias no deben exceder las 40,000 cel·ml<sup>-1</sup> y para las diatomeas se debe estar en un intervalo de 20,000 cel·ml<sup>-1</sup> y superiores (Treece, 1994). Las cianobacterias no deben de superar el límite sugerido pues este grupo en especial de algas llega a ser la causa de irritación en branquias favoreciendo la presencia de enfermedades y toxicidad en los peces, así como la reducción de apetito y por ende la disminución del crecimiento (Kubitza, 2016) produciendo excesiva biomasa e inhibiendo la capacidad fotosintética de otros grupos algales por enturbiar el agua, disminuyendo la concentración de oxígeno y por lo tanto su disponibilidad para otros organismos, además de la producción de toxinas (Muciño-Márquez *et al.*, 2015), representando así un importante problema en el sector económico y en el sector ecológico de la gestión del agua y de los ecosistemas acuáticos en general (Cobo, 2014). Sevrin-Reysaac & Pltetikosic (1990) menciona que las cianobacterias predominan en aguas con valores de nutrientes altos y hacen resaltar el hecho de que son resistentes a niveles bajos de nitrógeno, a pesar de esto, dicho grupo no fue abundante y sin presentar algún tipo de amenaza contra el cultivo y los organismos.

A pesar de ser que ambos estanques presentan un ambiente rico en nutrientes debido a la fertilización, la presencia del grupo de las euglenófitas fue reducida a la presencia de una sola especie con escasa frecuencia durante todo el proyecto. Como lo reporta Wetzel (1981), la presencia y el desarrollo de este grupo se localiza de manera temporal y en determinados niveles de profundidad así como en los sistemas acuáticos que presentan concentraciones altas principalmente de materia orgánica disuelta, sin embargo y a pesar de que el estudio se realizó en los meses lluviosos, la presencia de dicha alga estuvo reducida a esporádicas visualizaciones a finales del

año y únicamente en el EC2 pudiendo deberse a la remanencia del agua perteneciente al cultivo anterior, de igual manera se hace referencia a lo que reporta de la Lanza & Arredondo (1990) justificando que la presencia de euglenofitas se verá favorecida por la alta concentración de nitratos y amonio.

En algunos trabajos sobre el cultivo de peces, en especial de *Oreochromis niloticus* (Jamet, 2017; García, 2019; Beltrán, 2016), se reporta la proporción de una mayor presencia del grupo de clorofitas por encima de los demás grupos, incluso con la fertilización aplicada en los estanques pues según Arredondo (1993) la composición del fitoplancton en el agua de cultivos que son fertilizados de manera química u orgánicamente se encuentra dominada por clorofitas, mientras que para Darley (1987) la presencia y dominancia de clorofitas es común en las aguas eutróficas, ricas en calcio y con una buena relación de nitrógeno y fósforo.

La explosión del fitoplancton durante el proyecto puede deberse al uso de fertilizante, así como el bajo recambio de agua y el suministro de alimento balanceado. Sin embargo, el uso en exceso de fertilizante puede afectar al cultivo pues el proceso de descomposición puede provocar un agotamiento de oxígeno disuelto en el fondo del estanque (Chen, 1990).

La productividad primaria bruta presentó valores promedio de 5.99 y 2.80 mg C L<sup>-1</sup> para los estanques 1 y 2 respectivamente. Almazan & Boyd (1978) obtuvieron valores de rango entre 1 y 5 mg C L<sup>-1</sup> en cultivos de *Tilapia aurea*, teniendo datos en ese rango se menciona que en el presente trabajo se presentó una viable fertilización. Hepher (1962) menciona que conforme se profundice en los estratos, por acción del fitoplancton y la baja penetración de luz, la productividad disminuirá. Sin embargo, en el presente trabajo, esto no parece ser un inconveniente a pesar del manejo de fertilización y la elevada cantidad de fitoplancton en la columna de agua.

La presencia de estos organismos fitoplanctónicos va a favorecer al reciclaje de nutrientes, siendo la base de la cadena trófica, haciéndolos llegar a niveles superiores

y siendo aprovechados por los peces cultivados en su etapa de crecimiento, a pesar de la tendencia de las tilapias por el consumir alimento pastando sobre las capas del perifiton y el bagre por bentos.

La presencia de organismos zooplanctónicos es indispensable para los primeros estadios de crecimientos de los peces, Fattah *et al.* (2015) reportaron que conforme van creciendo los peces, hablando del caso en particular de las tilapias, el tamaño de zooplancton que ingieren aumenta, teniendo una particular preferencia por los rotíferos y micro crustáceos. De los grupos que integran esta clasificación sólo se identificaron, en mayor proporción, rotíferos, seguidos de copépodos y por último la presencia esporádica de larvas de mosquito, notando la ausencia total de cladóceros incluso aunque la población de estos organismos puede crecer muy rápido. Probablemente se deba a lo que reporta Caraballo *et al.* (2011) en un cultivo de cladóceros, dónde marca que una temperatura entre 28 y 30°C promueve un mayor crecimiento de organismos, siendo que el cultivo presentó temperaturas en el agua que no llegaron a esos niveles e incluso Rodríguez *et al.* (2003) mencionaron que se incrementa el desove de estos organismos con una mayor temperatura a diferencia de los rotíferos, los cuales tienen un mejor desarrollo en temperaturas de 15°C a 20°C (Gómez-Márquez *et al.*, 2013), intervalo en el que el presente trabajo se desarrolló y siendo este el grupo con mayor diversidad y abundancia entre los identificados. Trejo *et al.* (2014) determinaron que la presencia de zooplancton aumenta en condiciones de fertilización orgánica resultando en mayor densidad que en estanques fertilizados con otras opciones esto debido quizá al corto periodo de tiempo de vida de los organismos. Prieto *et al.* (2006) reportan que, del grupo de zooplancton, los cladóceros son más vulnerables a la predación y una marcada preferencia por parte de especies de peces neotropicales siendo así una posible respuesta a la ausencia de este grupo dado que no fue analizado el contenido estomacal de los ejemplares. Galliene *et al.* (2001) mencionan que el uso de redes en el muestreo de zooplancton provoca errores en las estimaciones, por ejemplo, biomasa y abundancia, con respecto a los valores “reales” de las comunidades.

La calidad del agua se mejora y estabiliza debido a la producción de oxígeno, del pH, disponibilidad de sustancias esenciales para la cadena trófica, asimilación de productos excretados por los organismos en cultivo que son potencialmente tóxicos, inducción de la actividad de captura de las presas, regulación de las poblaciones bacterianas y estimulación de la inmunidad (Alonso-Rodríguez, 2004), dado los resultados presentados en referencia a la calidad de agua, se puede asumir que el agua en la que se desarrollaron los organismos no muestran una limitante para estos, con una buena relación de las variables y disponibilidad de nutrientes, exceptuando por el pH que, a pesar de estar en rangos tolerables, en niveles más altos detiene el crecimiento y es mortal para los organismos.

En el cultivo de peces, el crecimiento adecuado de estos es indispensable para una exitosa cosecha, el desarrollo de los organismos se verá reflejado en los datos obtenidos del cambio que se presente en el peso y la longitud de estos. Granados (1996) hace énfasis en la medición de dichos aspectos, mencionando que existen tres diferentes longitudes medibles para los peces y la adecuación para medirlo siendo estas la longitud total, furcal y estándar, para el presente trabajo se tomó en cuenta la longitud total de los peces; así como el peso total. El principal criterio para medir la longitud total fue partiendo de la susceptibilidad del bagre ante la manipulación, siendo más fácil de medir a estos organismos de manera rápida. Los valores analizados para la relación existente entre estos resultaron para el caso de la tilapia con un valor de  $b$  en 3.0441 y aunque al ser un valor superior a 3 se pensó que el crecimiento de estos organismos era un ejemplo de crecimiento alométrico positivo, mediante una prueba  $t$ -student se determinó que no era significativamente diferente a 3, por ello se toma que el crecimiento de la tilapia es que tiende a la isométravega. Para el caso del bagre de canal, el valor de  $b$  resultó en 3.1461, denotando una tendencia al crecimiento alométrico positivo, al realizar una prueba  $t$ -student se demostró que el valor es significativamente diferente de 3, por ende, se acepta que los organismos cultivados de bagre de canal resultaron ser más pesados para su longitud; ambas pruebas con una confianza del 95%, aunque durante el proyecto se

mostraron organismos que se podrían denominar como “extraordinarios” en comparación a la tendencia de crecimientos que muestra el grupo en general.

El desarrollo y aumento de ambas especies fueron medidas hasta el mes de junio y en dicho mes se cosecharon los organismos que se encontraban en el promedio comercial (tomando en cuenta el peso, 250 gramos en cada especie) y por encima de este. Los organismos que no llegaron a dicho valor se mantuvieron en los estanques hasta el siguiente mes, se les siguió suministrando alimento balanceado y se mantuvieron las condiciones adecuadas para su desarrollo. Al cumplir el mes se cosecharon para su venta directa en la asociación y así asegurar más capital para las personas que en dicha área habitan.

Al finalizar el proyecto, sólo la tilapia presentó un peso promedio de 325 que según el Instituto Nacional de Pesca (2018) se encuentra adecuado para la cosecha y venta, siendo que entre el organismo se debe encontrar entre 300 y 500 gramos preferentemente. Jamet (2017) con 10 meses de trabajo en el mismo sitio de cultivo que el presente obtuvo cosechas con promedio de 232 gramos, siendo que dicho cultivo inició en marzo y finalizó en enero; García (2019) demostró la eficacia del uso de alimento balanceado al realizar comparación entre cultivos con diferentes marcas de alimento y determinó que en variación a la cantidad de proteína suministrada, los peces tienden a un crecimiento alométrico positivo, mientras que los peces con menor cantidad de proteína tienen a la isometría. En ese caso en particular, de los tres experimentos, el alimento suministrado con un 27% de proteína presenta un valor cercano al que posee el alimento suministrado en este proyecto, que posee un 30% de proteína y presentó una tendencia al crecimiento isométrico en las tilapias. Vega-Villasante *et al.* (2010) iniciaron un cultivo de tilapia en el mes de noviembre y en un periodo de 80 días lograron un aumento de 140 gramos aproximadamente suministrando alimento con 30% de proteína, sin embargo, el experimento fue a bajas densidades, con pesos iniciales rondando los 50 gramos y con promedios de temperatura en el agua de hasta 30°C lo cual pudo propiciar al aumento de peso.

De igual manera, el bagre de canal fue cosechado en dos ocasiones: en junio al finalizar el proyecto, los peces que superaron los 150 gramos se pusieron a la venta la cosecha aún sin llegar al peso comercial de 200 a 250 gramos para evitar que con la manipulación siguieran estresándose y se perdiera esa ganancia; los peces que no llegaron a ese valor se mantuvieron en el estanque circular 2 para propiciar un aumento gracias a la temperatura del agua, lo cual se logró llegando a promediar hasta 195 gramos con organismos superiores a este. Sierra (2000) realizó un cultivo de bagre de canal con tres gradientes de temperatura, así como alimento balanceado con proteína al 36% y 45%, demostrando que, a mayor temperatura, el flujo energético en los peces aumenta y a una temperatura de 30°C el crecimiento es mayor, además suministrando un alimento con una cantidad proteína superior se logra un aumento de peso, en dicho caso fue con un valor de 45% de proteína.

La importancia de que los organismos de tilapia fueron únicamente machos, revertidos sexualmente radicó en el evitar el desgaste de energía en las hembras por la maduración sexual, mientras que los machos ocupan dicha energía metabólica para el crecimiento (El-Greisy & El-Gamal, 2012); realizando un experimento entre un cultivo mono sexado y un cultivo mixto (machos y hembras) de tilapia, Gómez-Márquez *et al.* (2015) mostraron estas diferencias tanto en peso como en longitud al final del experimento, a pesar de que ambos cultivos tienden a la alometría positiva y la ganancia en peso diario es similar, en índices de crecimiento y aumento de peso y longitud el cultivo mono sexado superó al cultivo mixto.

La gran resistencia y tolerancia de la tilapia en los ambientes que se cultiva, así como su adaptabilidad y las condiciones presentes en los sistemas facilitaron la supervivencia de estos organismos casi en su totalidad, con una baja de 6 organismos, de los cuales, al revisarlos externamente, no presentaron anomalías en su estructura que indicaran alguna enfermedad. Estas bajas se dieron en días posteriores a la segunda toma muestral, así que puede sugerirse que es resultado del estrés, la temperatura, quizá provocando una resistencia al alimento o meramente estrés por manipulación; aunque también se ha demostrado que la supervivencia y la

tasa de crecimiento corresponde inversamente a la densidad (Poot-López *et al.*, 2012). Por su lado, el bagre de canal y como lo expresa Peres *et al.* (2003) es una especie favorable para la acuicultura debido a su aceptación rápida al alimento balanceado y su resistencia a las condiciones del ambiente, que, aunque su rango de supervivencia es menor al de la tilapia, ambos presentan en su mayoría las características favorables que en el presente trabajo se obtuvieron. La alta mortalidad observada en estos organismos fue adjudicada al manejo de los peces y a la temporada fría. Aguirre-Guzmán *et al.* (2016) experimentaron con dos grupos de organismos juveniles pertenecientes a bagre de canal, con un peso promedio de 200 gramos (superiores al peso promedio final del bagre en el presente), el grupo control no fue sometido a manipulación mientras que el otro grupo fue conducido al estrés por medio de manipulación y captura con una red concluyendo en cambios hematológicos que conllevan a enfermedades y posterior la baja del organismo. La manera en que ellos demostraron que dichas técnicas provocan estrés en los peces resalta como la principal causa de muerte en este proyecto, pues esa fue la manera en la que se obtuvieron las medidas de longitud y peso, así como la manera de capturarlos para medirlos y en la época fría moverlos al estanque circular 2. La temperatura pudo influir en la mortalidad, aunque no se reportaron valores menores tolerables, es un factor que provoca el lento crecimiento, la falta de apetito y la muerte en casos severos. La mortalidad se presentó en los organismos más pequeños, posiblemente el cambio de estanque previno la baja por temperatura, pero el estrés por manipulación es la principal razón del aumento de los decesos. Una tercera condición que pudo influir fue la alta densidad de siembra, para la estructura y tamaño del estanque, la carga de peces parece excesiva, sin embargo, se decidió que los ejemplares de bagre de canal serían superiores en número dada su sensibilidad de manejo y por recomendación del proveedor para tener una considerable cosecha al final del proyecto, esta opción se deja como tercera dado que el Departamento de Ecología (2005) hace referencia que el bagre de canal es apto para densidades altas en estanques, jaulas y canales. De igual manera que en las bajas de la tilapia, se analizaron externamente los peces que murieron y no se encontraron anomalías en su piel (como manchas blancas) o estructura (las branquias no presentaban un color

pálido o hinchadas) incluso sin despedir malos olores, por lo cual no se tiene en consideración alguna enfermedad.

Según el Manual de Crianza de Tilapia por Nicovita (sitio web), los valores para un cultivo semiintensivo respecto al crecimiento diario y la tasa de conversión alimenticia se mostraron bajos en el presente trabajo tomando como referencia a las semanas sugeridas en dicho manual, tomando de referencia los valores en un cultivo de 36 semanas; Ygnacio & Barrios (2015) denotan que bajos valores de ganancia en peso y conversión alimenticia (FCA) se puede atribuir a una alta densidad. Para la conversión alimenticia, Saavedra-Martínez (2006) indica que conforme el organismo envejezca, la FCA irá aumentando. Rosas (1994) menciona que para obtener 1 kilogramo de carne de bagre de canal se requirieron 2.05 kilogramos de alimento marcando un factor de conversión alimenticia satisfactoria, pero mencionando que la óptima es el uso de 1.8 kilogramos de alimento para obtener 1 kilogramo de carne, particularmente en el caso del bagre de canal, manteniendo un buen nivel de temperatura. En ambos casos, el factor de conversión alimenticia tuvo fluctuaciones a lo largo del proyecto, para la tilapia en los meses fríos (el periodo de octubre a marzo) muestra un buen aumento de este factor, en el caso del bagre se encuentra a la mitad de dicho valor, esto quizá por la temporada de estrés en un estado temprano de edad y al descender la temperatura mantuvo su condición al fondo del estanque, alimentándose del bentos y el alimento que se hundía, mientras la tilapia aprovecho esta situación y se alimentó en su mayoría de alimento en la superficie que al estabilizarse el entorno y sin necesidad de competir ambas especies comenzaron a aumentar nuevamente el FCA.

Los meses en que no se realizaron las mediciones de los organismos muestran resultados que pueden ser caracterizados como engañosos dado el tiempo de separación entre un valor y otro (4 meses), sin embargo, dicha temporada se enfocó en mantener vivos a los organismos más susceptibles a la temperatura (los bagres) que a la engorda de estos. Se espera que el alimento que se hundía haya sido

consumido por los bagres al permanecer en el fondo y aunque el crecimiento y aumento no fueron notables, no perecieron.

De igual manera ocurre con la ganancia en peso diario, para la temporada cálida del proyecto, la ganancia diaria se presenta en ascendencia, mientras la tilapia monosexada aporta todo lo consumido para crecimiento en tallas, el bagre muestra un aumento constante de aproximadamente 1 a 1.5 gramos ganados al día. Sánchez (2006) menciona que un alimento con alto valor de grasa provocará una menor ganancia en peso que un alimento con mayor proteína para la máxima producción de carne total.

El uso e importancia del factor de condición y el factor de condición relativa radica en la determinación del estado de robustez en los organismos. Al calcular el factor de condición se asume que el crecimiento de los peces es de manera isométrica, una cuestión que puede ser resuelta usando un estimado del peso adecuado, resultando así en el factor de condición relativo (Leyton *et. al.*, 2015). Los autores, señalados anteriormente, indican que el factor de condición no es apto para especies como la tilapia, esto debido a las variaciones entre las longitudes que pueda presentar los organismos, en el presente trabajo la tilapia fue la especie que tendió a la isometría mientras que el bagre no tuvo la misma valoración. La tilapia mantuvo una constante entre muestreos tendiendo a la baja en los últimos meses, indicando una buena robustez durante el periodo de estudio comparado con el comportamiento del bagre que presentó dos máximos de bienestar. Y aunque dicho factor también depende de la disponibilidad de alimento, se muestra como en la época fría, el bagre detuvo su crecimiento y poca alimentación mientras que la tilapia continuó con valores altos.

Los valores de tilapia para el índice de Fulton son similares a los obtenidos por Jamet (2017) y aunque su valor máximo fue en agosto con 2.15, en el presente se mostró el máximo en el mes de marzo con 2.13, hablando exclusivamente de la tilapia. De manera inversa, en el factor de condición relativa, los valores del bagre de

canal se determinaron más altos, así como una tendencia a aumentar con el paso del tiempo, ideando un valor de robustez mayor con base en la longitud, mientras que los valores de la tilapia disminuyeron manteniéndolos en promedios cercanos al 1. Para ambas especies, los valores del factor de condición relativa se mostraron superiores a la unidad (exceptuando el primer periodo debido a la variabilidad propia de los organismos y la adaptación de esto al ambiente y el alimento) indicando una condición positiva en el cultivo.

La biomasa inicial del proyecto fue de 3.85 kilogramos correspondiente a bagre de canal y de 0.921 kilogramos de tilapia en un área de 50.26 m<sup>3</sup>, transcurrido el proyecto, considerando las bajas de los organismos y con una cosecha parcial y una total se obtuvo un rendimiento de 21.2 kilogramos y 67.2 kilogramos de carne respectivamente de cada especie en un área de 100.52 m<sup>3</sup> utilizando ambos estanques para soportar la carga de las dos especies. Garza (1990) obtuvo cosechas satisfactorias en estanques con ambas especies, mejorando el rendimiento con el uso de fertilizantes, teniendo rendimientos de 18 a 21 kilogramos por estanque con 250 organismos cada uno, en condiciones de temperatura y oxígeno disuelto similares a las del presente. Martínez-Lagos *et al.* (2017) mostraron un buen rendimiento con un cultivo de bagre y tilapia usando alimento con base de harina y un 25% de proteína, obteniendo ganancia en peso diaria de 2.76 gramos para el bagre de canal y 0.68 gramos de tilapia, mostrando un aumento en el peso del bagre, sin embargo, el factor de conversión fue elevado en la tilapia con 4.19 a 1 en comparación al bagre que presentó un factor de 3.56 a 1, con valores que no son rentables para el cultivo. De la Mora (2012) aunque no crea un cultivo para cosecha si no para la evaluación de diferentes dietas en los peces, marca la reducción de costos por medio de la utilización de dietas basadas en aceite de soya (8%) y probióticos que no comprometen la vida los organismos, pero si propician al crecimiento de estos en comparación al alimento comercial que llega a presentar hasta 3% de grasas, sugiriendo la investigación en dietas alternativas a la comercial. Trejo-Lgueravide (2017) en un análisis de cultivos en Tamaulipas hace mención que la tilapia y el bagre de canal poseen técnicas de producción y valor comercial similar, por ende, los

clasifica como cultivos que dependiendo del fin se emplearan técnicas parecidas, mencionando de igual manera que productores cultivan tanto tilapia como bagre por sus similitudes, sin hacer hincapié en si emplean policultivos o los cultivos en estanques separados por especie. Para el presente proyecto, la cosecha de los organismos de tilapia representa un rendimiento bueno tomando como referencia los registrados por Jamet (2017) en un cultivo previo, superando el peso total por 9.06kg; la cosecha de bagre, al ser el primer cultivo realizado de esta especie en la unidad acuícola, representó un rendimiento regular, al no haber alcanzado el peso comercial esperado.

El nivel de proteína suministrado a los organismos está dentro del rango óptimo de proteína para la tilapia y el bagre dando como resultado el aumento de peso, siendo 35% de proteína digestible el valor del alimento y que no debe de ser menor a 24% de proteína (Torres-Novoa & Hurtado-Nery, 2012; Robinson & Li, 1997)

# Conclusiones

La siembra de 500 organismos con pesos promedio de 7.7 gramos para el bagre de canal y 300 organismos con pesos promedio de 3.07 gramos para la tilapia resultaron en una cosecha de 21.2 kilogramos y 67.2 kilogramos de carne respectivamente en un área de 100.52 m<sup>3</sup>.

De acuerdo a la relación longitud-peso, el crecimiento de los peces cultivados tienden a la alometría positiva en el caso del bagre de canal y una tendencia a la isometría en el caso de la tilapia.

Los valores respectivos de los factores físicos y químicos del agua se mantuvieron en límites tolerables y permitidos para ambas especies en cultivo.

La temperatura fue el parámetro que más preocupó debido al lento crecimiento de los peces en los meses de frío (el periodo de octubre a marzo), sin embargo, al terminar esa temporada, el desarrollo de los organismos se regularizó.

La tasa de supervivencia en el bagre de canal se vio afectada por la manipulación siendo que conlleva al estrés, baja alimentación y poco crecimiento, incluso la muerte, pues los parámetros del agua se mantuvieron en el rango óptimo.

La densidad fitoplanctónica presentó mayor abundancia de clorofitas, dominando el ambiente. La utilización de fertilizante orgánico propició a la mejora de alimento orgánico disponible, así como un buen nivel de productividad y disponibilidad de oxígeno.

La densidad zooplanctónica mostró la ausencia de cladóceros durante todo el proyecto, sin embargo, la presencia de rotíferos y copépodos, así como larvas de insectos, fue suficiente para la disponibilidad alimenticia necesaria para los peces en los primeros estadios, complementada por el alimento suministrado durante el transcurso del proyecto

El manejo y aprovechamiento de los recursos disponibles en un estanque facilitó la producción acuícola de dos especies, pero se debe tomar en cuenta que las especies a trabajar presenten condiciones ambientales similares y óptimas para el éxito de un policultivo.

# Referencias

- A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F. & W.E.F. (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. (22ed). American Public Health Association.
- Aguirre-Guzmán, G., Carvajal-de-la-Fuente, V., Neri-Coronado, M., Loredo-Osti, J. & Rábago-Castro, J. L. (2016). Hematological and clinical chemistry changes induced by acute stress during handling and capture of catfish (*Ictalurus punctatus*). *Rev. MVZ Córdoba*, 21(2), 5345-5354.
- Alatorre, O. (2007). *Calidad del agua y principios de diseño en los sistemas de recirculación acuícola (RAS)*. [Tesina, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Allen K. O. & Avault, J. W. (2011). Notes on the Relative Salinity Tolerance of Channel and Blue Catfish. *The Progressive Fish-Culturist*, 33(3), 135-137.
- Almazan, G. & Boyd, C. E. (1978). An evaluation of Secchi disk visibility for estimating plankton density in Fish ponds. *Hydrobiologia*, 61(3), 205-208.
- Alonso-Rodríguez, R. (2004). El fitoplancton en la camaronicultura y larvicultura: importancia de un manejo. Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa.
- AQUA. (27 de julio del 2011). *México fomenta la producción de tilapia y bagre*. AQUA. <https://www.aqua.cl/2011/07/27/mexico-fomenta-la-produccion-de-tilapia-y-bagre/>
- Arévalo, J. J. (2014). Efecto de tres tasas de alimentación en el crecimiento de juveniles de paiche, *Arapaima gigas*, cultivados en corrales. [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].
- Arredondo, F. J. L. (1986). *Piscicultura: Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de la calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva*. SEPESCA.
- Arredondo, F. J. L. (1993). *Fertilización y fertilizantes: Su uso y manejo en la acuicultura*. UAM-I.

- Arredondo, B., Beltrán, A. & Torres, M. (1994). Desarrollo científico y tecnológico del banco de genoma de tilapia. UAM-1 planta de producción acuícola, Depto. de Hidrobiología, C.B.S. Convenio secretaria de Pesca-UAM-I.
- Arredondo, F. J. L. & Ponce, J. T. P. (1998). Calidad del agua en acuicultura. Conceptos y aplicaciones. AGT Editor, S.A.
- Baird, C. (2001). Química ambiental. Reverte. (2da. ed.). Barcelona.
- Balbuena, E. D. (2011). Manual básico de piscicultura para Paraguay. FAO.
- Bautista, J. C. & Ruíz-Velazco, J. M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*, 3(8), 10-14.
- Bellinger, E. G. & Sigeo, D. C. (2010). Freshwater algae: Identification and use as bioindicators. Wiley-Blackwell.
- Beltrán, M. (2016). Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en estanques con fertilización artificial. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Blancas, G. A., Constanzo, E., Cervantes, A. & Gómez-Márquez, J. L. (2011). Manual de análisis de aguas naturales y su aplicación a la microescala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bocek, A. (2007). Acuicultura. Argentina: Subsecretaría de Actividades Pesqueras y Desarrollo del Delta, Ministerio de Asuntos Agrarios, Prov. de Buenos Aires.
- Boyd, C. E. (1971). Phosphorus dynamics in ponds. [Manuscript] Preparation was aided by Project AID/cd 2750 to the International Center for Aquaculture, Auburn University. 418-426.
- Boyd, C. E. (1979). Water quality in warmwater fish ponds. Auburn University.
- Boyd, C. E. (2015). Water quality, an introduction. (2da ed.). Springer.
- Camargo, J. A., Alanso, A. & Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58, 1255-1267

- Caraballo, P., Sánchez-Caraballo, A., Forsberg, B. & Leite, R. (2011). Crecimiento populacional e análise isotópica de *Diaphanosoma spinolosum* e *Ceriodaphnia cornuta* (Crustacea: Cladocera), alimentadas com diferentes frações de seston natural. *Maringá*, 33(1), 11-19
- Castro, T., De Lara, R., Castro, G., Mejía, J. & Malpica, A. (2003). Alimento vivo en la acuicultura. *ContactoS*, 48, 27-33
- Cavalcante, D. H., da Silva, S. R., Damasceno, P. P., Masaki, F. M. & Vinicius, C. M. (2012). Single or paired increase of total alkalinity and hardness of water for cultivation of Nile tilapia juveniles, (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Technology*, 34(2), 177-183.
- Cavalcante, D. H., Nunes, C. N., Saldanha, S. J. L., Dos Santos, L. F. R. & Vinícius, C. M. (2014). Imbalances in the hardness/alkalinity ratio of water and Nile tilapia's growth performance. *Acta Scientiarum Technology*, 36(1), 49-54.
- Ceballos, O. M. L. & Velázquez, E. M. R. (1988). Perfiles de la Alimentación de Peces y crustáceos en los Centros y Unidades de Producción Acuícola en México. Secretaría de Pesca.
- Chainark, S. & Boyd, C. E. (2010). Water and sediment quality, phytoplankton communities and Channel Catfish production in Sodium Nitrate-treated ponds. *Journal of Applied Aquaculture*, 22(2), 171-185
- Chen, L. C. (1990). Aquaculture in Taiwan. Fishing New Books.
- Cifuentes, J. L., Torres-García, P. & Frías, M. (2000). El océano y sus recursos I. Panorama oceánico. Fondo de cultura económica.
- Climate-data.org. (12 de agosto del 2017). Datos climáticos mundiales. *Blog Climate data*. <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico-179/>
- Cobo, F. (2014). Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales. *Limnetica*, 34(1), 247-268
- Cortés, V. (2010). Sustitución parcial de harina de pescado (*Plecostomus spp.*) por harina de lombriz (*Eisenia foetida*) en alimento para bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Darley, W. M. (1987). Biología de las Algas. Enfoque fisiológico. Limusa.

- De la Lanza, G. & Arredondo, J. L. (1990). La acuicultura en México: de los conceptos a la producción. UNAM.
- De la Mora, D. (2012). Efecto de la dieta formulada con aceite de soya y probiótico sobre la actividad microbicida de los macrófagos esplénicos en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). [Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara]
- Departamento de Ecología. (8 de octubre del 2017). Estudio de Impacto Ambiental, Cultivo de bagre en jaulas, producción de 500 toneladas anuales, Presa José López Portillo, Linares, N. L. *Blog de Gobierno del Estado de Nuevo León y Universidad Autónoma de Nuevo León*.  
[http://oeidrus.nl.gob.mx/oeidrus/ESTUDIOS\\_E\\_INVESTIGACIONES/ACUACULTURA/ESTUDIO-DEIMPACTO-AMBIENTAL-CERRO-PRIETO.pdf](http://oeidrus.nl.gob.mx/oeidrus/ESTUDIOS_E_INVESTIGACIONES/ACUACULTURA/ESTUDIO-DEIMPACTO-AMBIENTAL-CERRO-PRIETO.pdf).
- El-Greisy, Z. A. & El-Gamal, A. E. (2012). Monosex production of tilapia, *Oreochromis niloticus* using different doses of 17 $\alpha$ -methyltestosterone with respect to the degree of sex stability after one year of treatment. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38(1), 59-6
- El-Sayed, F. M. A. (2003). Protein nutrition of farmed tilapia: Searching for unconventional sources. In *New dimensions in farmed tilapia: proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia Aquaculture*. 364-78
- El-Shafai, S. A., El-Gohary, F. A., Nasr, F. A., Van Der Steen, N. P. & Gijzen, H. J. (2006). Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 232, 117-127
- Escamilla, J. (1986). Manual técnico para el cultivo de bagre. [Tesis de licenciatura, UNAM].
- Espina, S. & Alcaraz, G. (1995). ¿Es tóxico el nitrito? *Acta toxicol. Argent.*, 3(1), 2-4
- Ezcurra, E., Equihua, M. B. & Sánchez-Colón, S. (1984). Métodos Cuantitativos en la Biogeografía. Instituto de Ecología.
- FAO. (1978). Esquema de un Programa de Investigación Aplicada y Desarrollo Experimental para el Centro Regional Latinoamericano de Acuicultura. Roma.

- FAO. (1989). Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados manual de capacitación. Programa Cooperativo Gubernamental. Brasil.
- FAO. (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.
- FAO. (2013). Desarrollo de la acuicultura. 5. Uso de peces silvestres como alimento en acuicultura. Roma: FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable.
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma.
- Fattah, A., Castilho, M. & Valenti, W. (2015). Zooplankton capturing by Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae) throughout post-larval development. *Biology • Zoologia (Curitiba)*, 32(6), 469-475.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 241-253.
- Gaarder, T. & Gran, H. H. (1927). Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. *Conseil permanent international pour l'exploration de la mer*, 42, 1-48.
- Galliene, C. P., Robins, D. B. & Wood-Walker, R. S. (2001). Abundance, distribution and size structure of zooplankton along a 20° west meridional transect of the northeast Atlantic Ocean in July. *Deep-Sea Research*, 48: 925-949.
- García, E. (1964). Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, G. (2007). Evaluación multicriterio de organizaciones no gubernamentales: Su desarrollo y aplicación al caso Mateo Quinto A.C. [Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Colegio de Postgraduados].
- García, A. M. (2019). Crecimiento de Tilapia *Oreochromis niloticus* en un cultivo semi-intensivo en la Ciudad de México. [Tesis de licenciatura, UNAM].

- Garza, L. A. (1990). Engorda de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) con una dieta completa, en estanques fertilizados y no fertilizados. [Tesis de ingeniería, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey].
- GBC. (2011). Especies relevantes de la Industria Pesquera Mexicana Tilapia/Mojarra. Serie de fichas descriptivas de las especies relevantes en la industria pesquera mexicana. Global Biotech Consulting Group.
- Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B. Guzmán-Santiago, J. L. & Gallardo-Pineda, V. (2013). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un micro reservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica*, 23(2), 227-240.
- Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Alejo-Plata, M. & Guzmán-Santiago, J. L. (2015). Culture Mixed-Sex and Monosex of Tilapia in ponds in Mexico City. *Agricultural Sciences*, 6, 187-191.
- Gómez-Márquez, J. L., Cervantes-Sandoval, A., Salgado-Ugarte, I. S., Peña-Mendoza, B., Alejo-Plata, M. C., Guzmán-Santiago, J. L., Mendoza-Vallejo, E. & Machuca-Rodríguez, C. (2016). Temas Selectos de Biología Pesquera. UNAM.
- Granados, C. (1996). Ecología de peces. Universidad de Sevilla.
- Gutiérrez, M. E. (1999). Zooplancton de sistemas acuáticos epicontinentales mexicanos en la región central de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H112.
- Guzmán, M. G. & Lugo, B. C. (2015). Transformadora Integral Potosina de Bagre y Tilapia: Un nuevo modelo de producción acuícola en la Huasteca potosina. *Sociedad y ambiente*, 1(8), 75-97.
- Hasan, M., Supratim, B., Shahriar, K. M. & Salma, U. (2014) Salinity tolerance level of GIFU tilapia strain (*Oreochromis niloticus*) at juvenile stage. *International Journal of Agricultural Sciences.*, 4(1) 83-89.
- Hazrat, M. & Caguan, A. (2007). Relationships between Secchi disk visibility, water temperature and dissolved oxygen in freshwater fishpond. *Bangladesh'. Fish. Res.*, 11(1): 45-50.

- Hepher, B. (1962). Primary production and its application to fertilization experiments. *Limnology and Oceanography*, 7, 131-136.
- Hernández, M. I. & Rivas, L. M. (2012). Evaluación de los límites de tolerancia a la salinidad en alevines de uno y 30 días de edad de tilapia roja *Oreochromis sp.* y del Nilo *O. niloticus*. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 14.
- Huet, M. (1975). Textbook of Fish Culture. Breeding and Cultivation of Fish. (2da. Ed.). Page Bros.
- INAFED. (3 de septiembre del 2017). Sección correspondiente al estado de Puebla de la enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. *Blog del municipio de Amozoc*.  
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/index.html>
- INFONAVIT. (2016). Informe final municipal. Amozoc, Puebla, México. ONU-HABITAT.
- Ingle de la Mora, G., Villareal-Delgado, E. L., Arredondo-Figueroa, J. L., Ponce-Palafox, J. T. & Barriga-Sosa, I. de los A. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica*, 13(4), 247-253.
- Instituto Nacional de Pesca. (7 de octubre del 2021). Acuicultura Bagre de canal. *Blog*. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/bagre-de-canal>
- Instituto Nacional de Pesca. (7 de octubre del 2021). Acuicultura Tilapia. *Blog*. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-tilapia>
- Iturbide, K. (2008). Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Jamet, I. A. (2017). Manejo y evaluación de un cultivo mono sexado de tilapia *Oreochromis niloticus* en una unidad de producción acuícola en Puebla, como una alternativa alimentaria de carácter social. [Tesis de licenciatura, UNAM].

- Kilambi, R. V. & Robison, W. R. (1979). Effects of temperature and stocking density on food consumption and growth of grass carp *Ctenopharyngodon idella*, Val. *J. Fish Biol*, 15, 337-342.
- Knepp, G. L. & Arkin, G. F. (1973). Ammonia toxicity levels and nitrate tolerance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Prog. Fish-Cult.* 35, 221-224.
- Kubitza, F. (2016). Producción segura en estanques y sus fundamentos I. Panorama da Acuicultura.
- Laborde, A. (2000). Cultivo intensivo de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) en una granja de Abasolo, Tamps. Mexico. [Tesis de licenciatura, UNAM].
- Ladino-Orjuela, G. (2011). Dinámica del Carbono en estanques de peces. *Orinoquia*, 15(1), 48-61.
- Lara-Rivera, A. L., Parra-Bracamonte, G., Sifuentes-Rincón, A. M., Gojón-Báez, H. H., Rodríguez-González, H. & Montelongo-Alfar, I.O. (2015). El bagre de canal (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818): estado actual y problemática en México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 43(3), 424-434.
- Lee, J. S. (1981). Commercial Catfish Farming. The Interstate Printers & Publishers.
- Leyton, S., Muñoz, E., Gordillo, M., Sánchez, G., Muñoz, L. & Soto, A. (2015). Estimación del factor de condición de Fulton (K) en la cuenca alta del río Cauca. *Rev. Asoc. Col. Cienc.*, 27, 24-31.
- López-Ibarra, L. A. (2011). *El valor del bagre y la tilapia*. El economista. <https://www.economista.com.mx/opinion/El-valor-del-bagre-y-la-tilapia-20111214-0004.html>
- Mallya, J. (2007). The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture. Kingolwira National Fish Farming Centre, Fisheries Division Ministry of Natural Resources and Tourism Tanzania. UNU-Fisheries Training Programme.
- Margalef, R. (1983). Limnología. Ediciones Omega.
- Martínez-Córdova, L., Martínez-Porchas, M., López-Elías, J. A., Campaña-Torres, A., Miranda-Baeza, A., Ballester, E. & Porchas-Cornejo, M. A. (2010). Alimento

Natural en Acuicultura: una revisión actualizada. En: Cruz-Suarez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M. G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J. (Eds), Avances en Nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Martínez-Lagos, R. A., Colindres-Varela, O., Rodríguez-Velásquez, M. & Alvarado, K. (2017). Engorda del bagre de canal y la tilapia con piensos de harina de jícaro. *Revista Ciencia y Tecnología*, 20, 91-100.

Mendoza, V. A. (2019). Análisis de correlación entre la densidad del zooplancton y parámetros hidrológicos en tres áreas de la zona sur del Sistema Arrecifal Veracruzano. [Tesis de licenciatura, UNAM].

Milstein, A., (1992). Ecological aspects of fish species interactions in polyculture ponds. *Hydrobiologia*, 231, 177-186.

Monsees, H., Klatt, L., Kloas, W. & Wuertz, S. (2017). Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture research*, 48(7), 3482-3492.

Moreno, J. L. (2003). Fitoplancton. Pp.13-40. En: De la Lanza, E. G. (editor). Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua. AGT Editores.

Muciño-Márquez, R. E., Figueroa-Torres, M. G. & Aguirre-León, A. (2015). Cianofitas de los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, adyacentes a la Laguna de Términos, Campeche, México. *Polibotánica*, 39, 49-78.

Needham, J. G. & Needham, P. R. (1962). A Guide to the Study of Freshwater Biology. Holden Day, Inc, San Francisco.

Nicovita. (7 de octubre del 2021). Manual de Crianza de Tilapia. *Blog de Nicovita*. <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>

Nightingale, J. W. (1976). Development of biological design criteria for intensive culture of warm and coolwater species. Consulting engineers.

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2004). Guidelines for drinking-water quality. Vol 1. (2da ed.). Geneva.
- Patiño, A. (1986). Guía práctica de piscicultura artesanal. Asociación Nacional de Pescadores Artesanales de Colombia.
- Peña-Mendoza, B., Gómez-Márquez, J. L., Salgado-Ugarte, I. H. & Ramírez-Noguera, D. (2005). Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Emiliano Zapata dam, Morelos, Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, 53(3-4), 515-522.
- Peres, H., Lim, C. & Klesius, PH. (2003). Nutritional value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 225(1-4), 67-82.
- PIC Tilapia. (2012). Criterios técnicos y económicos para la producción Sustentable de Tilapia en México. Comité Nacional Sistema Producto Tilapia.
- Poot-López, G. R., Gasca-Leyva, E. & Olvera-Novoa, M. A. (2012). Producción de tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidocolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(4), 835-846.
- Popma, T. & Masser, M. (1999). Tilapia: Life History and Biology. SRAC.
- Prieto, M., De la Cruz, L. & Morales, M. (2006). Cultivo experimental del cladocero *Moina* sp. alimentado con *Ankistrodesmus* sp. y *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 705-714.
- Quiroz-Castelán, H., Solís, O., García-Rodríguez, J., Molina-Astudillo, I. & Díaz-Vargas, M. (2006). Variación de componentes fitoplanctónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en Norte del Estado de Guerrero. *REDVET*, VII(11), 1-25.
- Red Regional de Entidades y Centros de Acuicultura de América Latina. (1989). El policultivo: La mejor alternativa de producción. Red Regional de Acuicultura.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 191, 145-157.

- Ricker, W. E. (1979). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research*.
- Robinson, E. H. & Li, M. H. (1997). Low proteins diets for channel catfish *Ictalurus punctatus* raised in earthen ponds at high density. *J. world aquaculture*, 28(3): 224-229.
- Rodríguez, H. & García-Ulloa, M. (2009). RP Producción de tilapia en invierno en el norte de Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa.
- Rodríguez, J., Villaseñor, R. & Martínez, F. (2003). Efecto de la temperatura y tipo de alimento en el cultivo de *Moina micrura* (Kurz, 1874) (Anomopoda: Moinidae) en condiciones de laboratorio. *Hidrobiológica*, 13(3), 239-246.
- Roldán, G. & Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. (2da. Ed.). Universidad de Antioquia.
- Rosas, A. (1994). Evaluación Productiva del Cultivo de Bagre de Cana] (*Ictalurus punctatus*) en la Granja Acuícola "Sayula" en su Ciclo 1991 - 1992. [Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara].
- Ruíz, L. A. (2013). Importancia de la Acuicultura en México. *Biomasa XY*.
- Saavedra-Martínez, M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. University of Rhode Island, University of Hawaii and CIDEA.
- Salgado-Ugarte, I. H. (2017). Métodos Estadísticos Exploratorios y Confirmatorios para Análisis de Datos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez, I. (2006). Evaluación de la ganancia de peso y conversión alimenticia de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la etapa de engorde 2 alimentada con diferentes relaciones proteína: grasa. [Práctica de Especialidad, Instituto Tecnológico de Costa Rica].
- Schwoerbel, J. (1975). Métodos de Hidrobiología. Hermann Blume ediciones.
- Secretaría de Pesca. (1982). Manual técnico para el cultivo del bagre de canal. Pesca.
- Secretaría de Pesca. (1988). Manual técnico para el cultivo del bagre de canal (*I. punctatus*) en los centros acuícolas de la secretaría de pesca. Pesca.

- SENASICA. (2008). Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. CIAD.
- Sevrin-Reysaac, J. & Pletikosic, M. (1990). Cyanobacteria in fish ponds. *Aquaculture*, 88, 1-20.
- Sipauaba, L. & Boyd, C. (2007) Possible Effects of Sodium Chloride Treatment on Quality of Effluents from Alabama Channel Catfish Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 34(2), 217-222.
- Sierra, E. (2000). Bioenergética de *Ictalurus punctatus* e índices secundarios de estrés en temperaturas constantes y fluctuantes. [Tesis de doctorado, CICESE].
- Soderberg, R. W. (2017). Aquaculture Technology. Flowing water and static water fish culture. Taylor & Francis Group.
- Suárez-Morales, E. & Gutiérrez-Aguirre, M. (2001). Morfología y taxonomía de los *Mesocyclops* (Crustacea: Copépoda: Cyclopoida) de México. CIQRO.
- SUSTAINAQUA. (2009). Manual de acuicultura sostenible. OPP.
- Torres-Novoa, D. M. & Hurtado-Nery, V. L. (2012). Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *ORINOQUIA*. 16(1): 63-68.
- Treece, G. D. (1994). Métodos para mejorar la Camaronicultura en Centroamérica, Fertilización. UCA.
- Trejo, R., Molina, F. I. y García, J. (2014). Producción de alimento vivo empleando diferentes fertilizantes con fines de acuicultura. *Investigación agropecuaria*, 11(1), 15-22
- Trejo-Lgueravide, R. (2017). Evaluación de los cultivos acuícolas en Tamaulipas, México. *CienciaUAT*, 12(1), 114-133.
- Vega-Villasante, F., Cortés-Lara, M. C., Zúñiga-Medina, L. M., Jaime-Ceballos, B., Galindo-López, J., Basto-Rosales, M. E. R. y Nolasco-Soria, E. (2010). Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala ¿alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México? *REDVET*, 11(4), 1-15.

- Vicente, F., de Hoyos, C., Sánchez, P. & Cambra, J. (2005). Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton. Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Waidbacher, H., Liti, D., Fungomeli, M., Mbaluka, R., Munguti, J. & Straif, M. (2006). Influence of pond fertilization and feeding rate on growth performance, economic returns and water quality in a small-scale cage-cum-pond integrated system for production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research*, 37, 594-600.
- Wedemeyer, G. A. (1996). Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman y Hall.
- Wedler, E. (1998). Introducción en la acuicultura con énfasis en los neotrópicos. Litoflash Impression.
- Wellborn, T. L. (1988). *Channel catfish: life history and biology*. SRAC Publ. No. 180, 4 pp.
- Wetzel, R. G. (1981). Limnología. Omega.
- Wurts, W. A. & Durborow, R. M. (1992). Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. *Southern Regional Aquaculture Center*, 464.
- Ygnacio, D. E. & Barrios, A. N. (2015). Crecimiento de *Colossoma macropomum* “gamitana” y *Oreochromis niloticus* “tilapia nilotica” en policultivo intensivo con tres densidades de siembra en estanques seminaturales [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional “Pedro Ruíz Gallo”].