



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V



**Factores asociados a la mortalidad atípica de tilapia (*Oreochromis*
spp.) en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas**

TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
TROPICAL**

Presenta

LUIS ALFONSO VELÁZQUEZ VALENCIA PS1888

Director de tesis

DR. BENIGNO RUÍZ SESMA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Marzo, 2022



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V.
DIRECCIÓN**



Villaflores, Chiapas
16 de febrero de 2022
Oficio N° D/0107/22

C. LUIS ALFONSO VELÁZQUEZ VALENCIA
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“Factores asociados a la mortalidad atípica de tilapia (*Oreochromis spp.*) en la presa Netzahualcáyotl (malpaso), Chiapas”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE FACULTAD DE
CIENCIAS AGRONÓMICAS
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”


M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA
ENCARGADO DE LA DIRECCIÓN

C. c. p. Archivo

CAVS*marh.



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) LUIS ALFONSO VELÁZQUEZ VALENCIA,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "FACTORES ASOCIADOS A LA MORTALIDAD ATÍPICA DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN LA PRESA NETZAHUALCÓYOTL (MALPASO), CHIAPAS"

presentada y aprobada en el año 20 22 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 16 días del mes de Marzo del año 20 22 .

Luis Alfonso Velázquez Valencia

AGRADECIMIENTOS

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esa mención en especial para mi esposa, mis padres y mis hermanas. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que el amor de la familia no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere.

Al Dr. Benigno Ruiz Sesma, quien en todo momento me apoyó para mi formación académica, enseñanzas, dedicación y por creer en mí en todo momento.

Al Dr. Jorge Hernández López, a quien considero un gran amigo y que siempre estuvo para apoyarme de manera incondicional, por sus comentarios tan francos y certeros para la realización de este trabajo, pero sobre todo por su valiosa y sincera amistad.

A la Dra. Paula Mendoza Nazar, por ser la gran impulsora de este proyecto y la iniciadora de este trabajo de tesis.

Al MC. Carlos Ibarra Martínez, por sus consejos, aportaciones y dedicación para la realización de esta tesis.

Al Dr. Gerardo Bautista Trujillo, por sus valiosos comentarios y aportaciones para el desarrollo de esta tesis.

Un especial agradecimiento al MC Francisco Vázquez Ramírez, quien me motivó a realizar el posgrado y a superarme en lo profesional.

Al Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas A.C., por el financiamiento a este proyecto, así como el valioso apoyo del personal técnico en sanidad acuícola por su valioso apoyo y aportaciones. De igual manera a los productores participantes en este trabajo.

A la MCPAT y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgar la beca para realizar mis estudios de posgrado.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivos.....	3
1.1.1	Objetivo General	3
1.1.2	Objetivos Específicos.....	3
1.2	Hipótesis.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Perspectiva de la acuicultura.....	4
2.2	La tilapia como especie acuícola.....	6
2.2.1	Aspectos biológicos de la especie	7
2.2.2.	Factores ambientales para el cultivo de tilapia	11
2.3	Cuerpos de agua	15
2.3.1.	Cuerpos Lóticos	15
2.3.2.	Cuerpos Lénticos	16
2.4	Sistemas de producción	17
2.4.1.	Sistemas extensivos	17
2.4.2.	Sistemas semi intensivos.....	18
2.4.3.	Sistemas intensivos	18
2.4.4.	Sistemas súper intensivos	19
2.5	Infraestructura empleada en el cultivo de peces	19
2.5.1.	Cultivo en jaulas.....	19
2.5.2	Cultivo en canales rápidos o Raceways.....	20
2.5.3.	Cultivo en tanques de geomembrana	21
2.6	Etapas del cultivo de tilapia	21
2.6.1	Precría	21
2.6.2	Levante	22

2.6.3 Engorde	22
2.7 Riesgos y enfermedades en el cultivo de tilapia	22
2.7.1 Principales enfermedades que afectan a la tilapia	24
2.8 Antecedentes de la producción de tilapia	25
2.8.1. Producción de tilapia a nivel mundial	25
2.8.2. Producción de tilapia en Latinoamérica	26
2.8.3 Antecedentes de la producción de tilapia en México	28
2.8.4 Producción de tilapia en Chiapas.....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1 Área de estudio	33
3.2 Etapa 1. Tipificación de las unidades de producción del cultivo de tilapia en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).	34
3.2.1 Marco de muestreo	34
3.2.2. Diseño del muestreo y tamaño de muestra.....	34
3.2.3 Métodos y técnicas de laboratorio	35
3.2.4 Análisis de datos	35
3.3 Etapa dos. Caracterización de los Parámetros fisicoquímicos del agua de la Presa Netzahualcóyotl (Malpaso).....	36
3.3.1 Marco y área de muestreo	36
3.3.2 Variables evaluadas.....	36
3.3.3 Métodos y técnicas de laboratorio	36
3.3.4 Análisis de datos	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1 Etapa 1. Tipificación de las unidades de producción del cultivo de tilapia en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).	38
4.2 Etapa 2. Calidad del agua	46
V. CONCLUSIONES	53

VI. LITERATURA CITADA.....55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación biológica de la especie	8
Cuadro 2. Oxígeno disuelto en ppm y mg/l y sus efectos en tilapias de cultivo	12
Cuadro 3. Tamaño de muestra y estratos	35
Cuadro 4. Cantidad de jaulas flotantes por tamaño	40
Cuadro 5. Análisis de correlación de las variables de Calidad del Agua.....	47
Cuadro 6. Ecuación de predicción de las variables Calidad de Agua	48
Cuadro 7. Componentes principales de las variables calidad de agua	49
Cuadro 8. Valores promedio de los cluster de las variables de la cantidad del agua.	51
Cuadro 9. Matriz de componentes principales de la reducción de variables.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura.....	5
Figura 2. Morfología externa de la tilapia	7
Figure 3. Tilapia nilótica	8
Figura 4. Tilapia Stirling Rosada	9
Figure 5. Tilapia Áurea.....	9
Figure 6. Tilapia Rocky Mountain.....	10
Figura 7. Ciclo de vida de la tilapia	11
Figura 8. Sistemas de producción Jaulas Flotantes en el Estado de Chiapas.....	19
Figura 9. Sistema de raceways para el cultivo de tilapia.....	20
Figura 10. Estanques de Geomembrana	21
Figura 11. Presa Nezahualcóyotl (Malpaso)	33
Figure 12. Actividades complementarias a la acuicultura en la presa Nezahualcóyotl (Malpaso)	39
Figura 13. Origen del insumo biológico.....	45
Figura 14. Dendograma realizado con base al análisis de los componentes principales	50
Figure 15. Comportamiento de la calidad del agua durante el año	51

RESUMEN

La tilapia es la segunda especie de mayor importancia a nivel mundial en la piscicultura, Chiapas es el mayor productor del país con 33,000 toneladas durante 2021. En la presa Malpaso a partir del año 2018 se han presentado mortalidades recurrentes sin que se tenga hasta el momento una explicación a este fenómeno, por lo que el objetivo de este estudio fue determinar las fuentes causales de mortalidades atípicas en el cultivo de Tilapia (*Oreochromis* spp.) relacionados con la calidad de agua en el sistema de jaulas flotantes en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas. El estudio se realizó en dos fases, la primera fue la caracterización de las unidades de producción de tilapia en jaulas flotantes de la presa Malpaso, Chiapas, empleando un muestreo estratificado con asignación Neyman, con una precisión del 10% y 95% de confiabilidad, obteniéndose un número de 40 unidades de producción. En la segunda fase se realizó la toma de parámetros fisicoquímicos del agua en 10 puntos estratégicos, midiendo concentración de oxígeno disuelto, temperatura, pH, turbidez, alcalinidad, dureza, amonio, nitratos y nitritos durante los meses de septiembre de 2020 a agosto de 2021. En la primera etapa, se encontraron dos formas de jaulas: cuadradas de con dimensiones máximas de 3x3 m y circulares de 8 m de diámetro. Se encontró que 72.5% de los productores no aplica ninguna medida de bioseguridad y un 80% de las granjas no realiza un monitoreo de calidad del agua ni cuenta con el equipo básico para su medición, 77.5% usa fármacos sin que se tenga un acompañamiento técnico especializado ni diagnósticos sanitarios. En la segunda etapa se encontró una correlación positiva de 0.65 entre el pH y la temperatura con una probabilidad de 0.02. Por el contrario, la temperatura presentó una correlación negativa (-0.71) con la turbidez. Se encontró que la variable que más influye sobre la temperatura del agua es la turbidez y el pH. Se concluye que la presencia de mortalidades de organismos en la presa Malpaso Chiapas, se debe a las prácticas de cultivo deficientes y la baja calidad del agua detectada.

Palabras clave: tilapia, caracterización, calidad del agua, presa, Chiapas.

ABSTRACT

Tilapia is the second most important species worldwide in fish farming, Chiapas is the largest producer in the country with 33,000 tons during 2021. In the Malpaso dam as of 2018 there have been recurring mortalities without having so far an explanation for this phenomenon, so the objective of this study was to determine the causal sources of atypical mortality in Tilapia (*Oreochromis* spp.) farming related to water quality in the floating cage system in the Netzahualcóyotl dam (Malpaso), Chiapas. The study was carried out in two phases, the first was the characterization of the tilapia production units in floating cages of the Malpaso dam, Chiapas, using a stratified sampling with Neyman assignment, with a precision of 10% and 95% reliability. obtaining a number of 40 production units. In the second phase, the physicochemical parameters of the water were taken at 10 strategic points, measuring dissolved oxygen concentration, temperature, pH, turbidity, alkalinity, hardness, ammonium, nitrates and nitrites during the months of September 2020 to August 2021. In the first stage, two forms of cages were found: square ones with maximum dimensions of 3x3 m and circular ones with a diameter of 8 m. It was found that 72.5% of the producers do not apply any biosecurity measure and 80% of the farms do not monitor water quality or have the basic equipment for its measurement, 77.5% use drugs without having a specialized technical support or health diagnoses. In the second stage, a positive correlation of 0.65 was found between pH and temperature with a probability of 0.02. On the contrary, temperature presented a negative correlation (-0.71) with turbidity. It was found that the variable that most influences water temperature is turbidity and pH. It is concluded that the presence of mortalities of organisms in the Malpaso Chiapas dam is due to poor cultivation practices and the low quality of the water detected.

Keywords: characterization, water quality, cages, Chiapas.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el grupo de actividades orientadas a la producción de animales y vegetales acuáticos, que se hacen por el control de los organismos y de su ambiente (Morales-Covarrubias, 2010). Esta actividad ha tenido un desarrollo conveniente en México, aumentando su trascendencia como una alternativa para surtir las demandas presentes y futuras en temas de alimentos de procedencia acuático, con un elevado grado nutricional.

El cultivo de especies acuícolas, tiene como fin primordial la producción de proteína animal de bajo costo y de alto contenido proteico para el consumo humano, este objetivo es el iniciador de que el desarrollo y aumento de la acuicultura necesite del empleo de acciones que prevengan y controlen la posible aparición de patologías emergentes que perjudiquen a los organismos acuáticos en las unidades de producción acuícola. Es por lo previamente expuesto que la sanidad acuícola ocupa un espacio prioritario en el éxito de esta actividad.

La presencia de agentes patógenos y lesiones en los peces de cultivo es muy común, y determinar el problema principal sobre el cual se aplicarán los esfuerzos para su control resulta ser un verdadero reto. En México son pocos los trabajos realizados sobre las enfermedades que afectan el cultivo de peces, los estudios se limitan al monitoreo de fauna parasitaria. A pesar de ser el principal productor de tilapia en México a partir de 2015, alcanzando las 33,000 t anuales, en la actualidad, en el estado de Chiapas no existen registros de las enfermedades que afectan al cultivo de las tilapias, por lo que no se conoce su distribución, el comportamiento de las mismas y frecuencia de presentación en las explotaciones.

En los años 2017 y 2018 se han presentado de manera recurrente mortalidades atípicas de tilapia en la presa Malpaso, llegando aproximadamente a 2,000 t con un impacto económico de 80 millones de pesos (Comentario personal)¹.

Como punto inicial, se tiene la hipótesis de que la principal causa que genera las mortalidades atípicas se encuentra en el manejo deficiente de los organismos en las unidades de producción.

¹ Dimas Cruz Hernández. Gerente del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas.

La presente investigación, pretende identificar los principales factores que están influenciando la mortalidad atípica en el cultivo de tilapia, así como la descripción de las UPA's² de esta especie en el sistema de jaulas flotantes en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas.

² Unidades de Producción Acuícolas

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinar las fuentes causales de mortalidades atípicas en el cultivo de Tilapia (*Oreochromis* spp.) relacionados con la calidad de agua en el sistema de jaulas flotantes en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Tipificar las unidades de producción del cultivo de tilapia en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).
- b) Caracterizar los Parámetros fisicoquímicos del agua de la Presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

1.2 Hipótesis

La mortalidad de las tilapias en el sistema de jaulas flotantes en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), está influenciada por la interacción de la calidad del agua y el manejo deficiente de las unidades de producción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Perspectiva de la acuicultura

La organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que casi el 70% de los recursos pesqueros se han sobre explotado (SAGARPA, 2015). Por lo que, surge entonces la necesidad de contar con opciones alternas que impulsen la acuicultura.

La acuicultura es el conjunto de actividades orientadas a la producción de animales y plantas acuáticas, que se realizan por medio de cierto control de los organismos y de su medio ambiente (SENASICA³, 2017).

A inicio del siglo XXI, la piscicultura constituye una de las actividades productivas más importantes dentro de la acuicultura mundial, gracias a los grandes beneficios socioeconómicos que genera a los países involucrados en ella (Morales-Covarrubias, 2010).

A partir del año de 1961, el aumento anual mundial del consumo de proteína acuática ha duplicado el aumento demográfico, poniendo de manifiesto que el área acuícola y pesquera es necesaria para conseguir la meta de la FAO⁴ de un mundo sin hambre ni malnutrición. La producción pesquera mundial alcanzó un superior de alrededor de 171 millones de toneladas en 2016, de las cuales la acuicultura representó un 47% del total y un 53% si se excluyen los usos no alimentarios (harina y aceite de pescado). Frente al equilibrio de la producción de la pesca de captura a partir de finales de los años 80, la acuicultura fue la desencadenante del extraordinario crecimiento constante del abastecimiento de pescado para el consumo humano (FAO, 2018).

En 2016, la producción mundial por acuicultura, incluidas las plantas acuáticas, subió a 110.2 millones de toneladas, estimadas en un costo de primera comercialización de 243,500 millones de USD. La producción total incluye 80 millones de toneladas de peces comestibles (231 600 millones de USD) y 30.1 millones de toneladas de plantas acuáticas (11,700 millones de USD), así como 37,900 toneladas de productos no alimentarios (214. 6 millones de USD) (*op. cit.*). Para el 2018 se considera que la

³ Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

⁴ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*).

producción mundial de peces alcanzó unos 179 millones de toneladas, con un costo de 401 000 millones de USD, de los cuales 82 millones de toneladas por costo de 250 000 millones de USD, fueron originados de la producción acuícola. Del total general de 156 millones de toneladas se destinaron al consumo humano, lo cual equivale a un abastecimiento anualpreciado de 20.5 kilogramos per cápita. (FAO, 2020).

En el año 2019, la acuicultura representó el 46% de la producción total de los alimentos de origen acuático y el 52% del pescado para consumo humano (FAO, 2020).

En cuanto a la producción mundial de producción de peces, china sigue siendo un importante productor, tanto así que en 2018 registró el 35% de la producción mundial de pescado, seguido de países asiáticos con 34%, Las Américas con 14%, Europa 10%, África 7% y Oceanía 1%. (FAO, 2020).

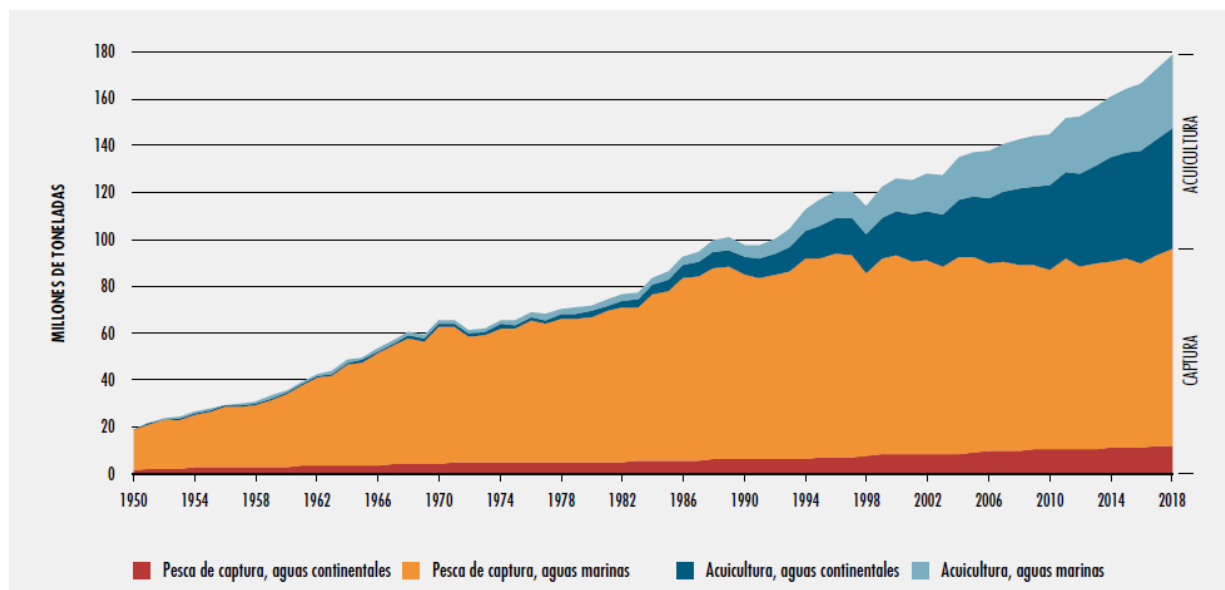


Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura

Fuente: FAO, 2020.

El consumo mundial de peces designado para el consumo humano incrementó a una tasa media anual del 3.1% entre 1961 y 2017, una tasa que fundamentalmente duplica el aumento de los habitantes en el mundo (1.6% anual) a lo largo de el mismo lapso, y que es mayor a los otros alimentos que tienen proteínas de procedencia animal (carne, productos lácteos, leche, etcétera.), que incrementó un 2% anual (FAO, 2020). El consumo de pescado per cápita se incrementó de 9.0 kg en 1961 a 20.5 kg en 2018, alrededor de 1.5% anual (FAO, 2018).

Una de las especies de peces considerado de gran importancia para la actividad acuícola a nivel mundial es la tilapia, porque cuenta con un contenido proteico alto, los costos para su producción son relativamente bajos y ha tenido una gran promoción en el mercado (SAGARPA, 2015). Actualmente es ya considerado el segundo conjunto de peces de mayor producción en la acuicultura mundial, incrementado su competitividad en la división de los productos frescos e inocuos hacia los grandes clientes de EUA y la Unión Europea.

2.2 La tilapia como especie acuícola

Las tilapias son peces endémicos pertenecientes a África y el cercano Oriente, en donde se inician trabajos con esta especie a inicios del siglo XIX. Por sus propiedades y adaptabilidad se consideraron ideales para la piscicultura rural, en especial en el Congo Belga (actualmente Zaire). Desde el año de 1924 se intensifica su cultivo en Kenia, no obstante, ha sido en el Extremo Oriente, en Malasia en donde se obtuvieron los más destacables resultados y de esta forma se inició su cultivo a nivel mundial (Sistema Producto Tilapia de México, 2012).

La tilapia pertenece a un grupo muy diverso de más de 100 especies acuícolas, pero sorprendentemente solo un puñado de especies se cultivan comercialmente y solamente una de las especies, la Tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*, cuenta con el 95% de la producción mundial (SAGARPA, 2015).

La FAO, ubica a la especie tilapia como uno de los peces con mayor producción en el mundo y es considerado como un buen alimento, con buen sabor y de rápido crecimiento; así también puede cultivarse en estaques, tanques, jaulas, soporta altas densidades. Es una especie muy resistente a condiciones ambientales adversas, e caracterizada por soportar bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, y no dependen de algún tipo de alimento en especial, además, puede ser manejada genéticamente con gran destreza.

De acuerdo con NICOVITA (2017), el desarrollo de híbridos de tilapia por manipulación genética permitió obtener muchas ventajas sobre otras especies, como elevado porcentaje de masa muscular, filete de gran tamaño, ausencia de espinas intramusculares, incremento veloz en peso vivo, adaptabilidad al ambiente, resistencia

a patologías, sobresaliente textura y coloración de la carne, con excelente aceptación en el mercado.

Las tilapias fueron introducidas en forma apresurada hacia varios territorios tropicales y subtropicales en todo el planeta, recibiendo el seudónimo de las gallinas acuáticas, frente a la aparente facilidad de su cultivo, soportado en la rusticidad para su producción, alta adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, en algunas ocasiones aún más extremas, rápida reproducción, gran resistencia ante la presencia de agentes patógenos, alta productividad, admiten alimento tanto naturales como artificiales (Sistema Producto Tilapia de México, 2012).

2.2.1 Aspectos biológicos de la especie

La tilapia es un pez teleósteo del orden *Perciforme* perteneciente a la familia *Cichlidae*. Es originario de África, y habita la mayor parte de las regiones tropicales del mundo donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento (Gobierno del Estado de Sinaloa, 2016).



Figura 2. Morfología externa de la tilapia

Cuadro 1. Clasificación biológica de la especie

Phyllum:	Vertebrata
Sub Phylum:	Craneata
Super clase:	Gnostomata
Clase:	Teleostomi
Orden:	Perciformes
Sub orden:	Percoidei
Familia:	Cichlidae
Género:	<i>Oreochromis</i>
Especies:	<i>O. niloticus</i> , <i>O. aureus</i> , <i>O. mossambicus</i> , <i>O. urolepis hornorum</i> , <i>O. macrochir</i> .
Género:	<i>Tilapia</i>
Especies:	<i>T. zilli</i> , <i>T. rendalli</i> , <i>T. melanopleura</i> .

En la actualidad se cultivan con exitosamente unas diez especies de tilapia, siendo las más cultivadas: *O. niloticus* llamada Tilapia del Nilo o Nilótica, la *O. aureus* llamada tilapia azul, y la *O. mossambicus* tilapia mosámbica, así como diversos híbridos de estas especies pertenecientes al género *Oreochromis*, entre los cuales se hallan las variedades de tilapias rojas y blancas. Pese a que la *O. mossambicus* fue la primera especie en distribuirse fuera del continente africano, es la menos deseable en cuanto a sus propiedades para su cultivo se refiere; toda vez que la *O. aureus* como la *O. niloticus* crecen con mayor rapidez y alcanzan tallas mayores que la *O. mossambicus*; y se reproducen en mayor porcentaje (*op. cit*).

La tilapia nilótica (*O. niloticus*, línea egipcia) es gris con tonalidades verde metálico y bandas verticales de color negro, siendo más notorias en la aleta caudal (Sistema Producto Tilapia de México, 2012).



Figure 3. Tilapia nilótica

Fuente: Sistema Producto Tilapia de México, 2012.

La tilapia nilótica (*O. niloticus*, línea Stirling), conocida también como tilapia rosada o chocolate, es de color pardo a rosado profundo, con tonalidades intensas en el pecho y cabeza, presenta líneas verticales de coloración tenue en la aleta caudal (Sistema Producto Tilapia de México, 2012).



Figura 4. Tilapia Stirling Rosada

Fuente: Sistema Producto Tilapia de México, 2012.

La tilapia áurea (*O. aureus*), también es conocida como tilapia azul, presenta el cuerpo y aleta caudal de color oscuro grisáceo, dorso azul metálico y vientre blanquecino, aleta caudal con bandas tenues e incompletas.



Figure 5. Tilapia Áurea

Fuente: Sistema Producto Tilapia de México, 2012.

La tilapia blanca Rocky Mountain White es de un color blanco con tonalidades amarillentas y su aleta caudal presenta lunares amarillos y vértice rojo. Fue generada con la cruce de las especies: *O. niloticus* y *O. aureus*, de las que se obtuvieron ejemplares con las características deseadas y se cruzaron varias veces hasta fijar particularidades mencionadas.



Figure 6. Tilapia Rocky Mountain

Fuente: Sistema Producto Tilapia de México, 2012.

Ciclo de vida

Todas las especies de tilapia son conocidas por su precocidad anticipada. La mayoría de los peces de la especies de tilapia alcanzan su madurez sexual en un peso de entre los 30-40 gramos, correspondiente a una edad de 2 a 4 meses. Cuando las tilapias han madurado, suelen realizar la puesta de huevos todo el año mientras la temperatura del agua sea superior a los 24°C (Gobierno del estado de Sinaloa, 2016).

Ordinariamente las tilapias hembras tienen de cinco a ocho desoves por año en condiciones de temperatura ambiental de 25° a 31°C, con una producción de huevos promedio de 1,500 por puesta y dependiendo de las condiciones de la hembra, y teniendo una vida útil de los reproductores de dos a tres años (NICOVITA, 2017).

Cuando las tilapias han alcanzado la madurez sexual, se tienen cinco etapas primordiales en el desarrollo inicial, mismo que da comienzo cuando se lleva a cabo la fecundación del huevo (figura 7).

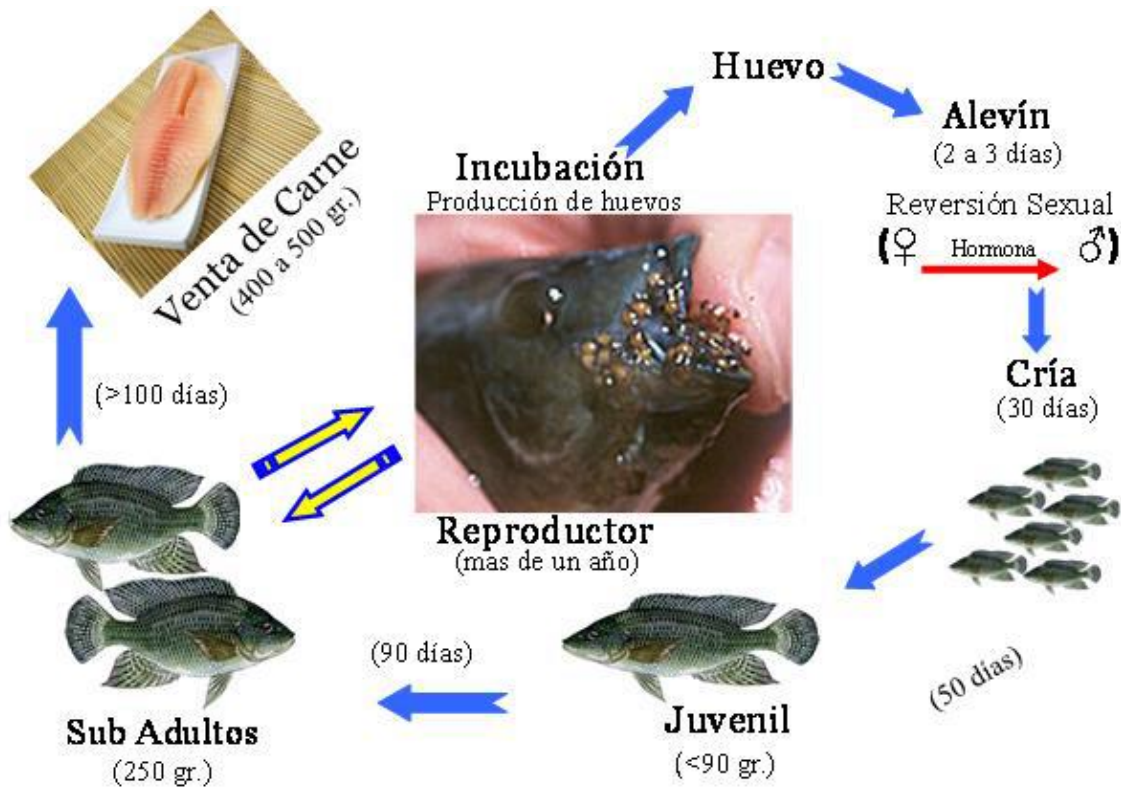


Figura 7. Ciclo de vida de la tilapia
Fuente: Sistema Producto Tilapia de México, 2012.

La etapa de alevín dura alrededor de 3 a 5 días; el alevín (pez pequeño), se caracteriza porque presenta un tamaño de 0.5 a 1 cm, y posee un saco vitelino en el vientre. La tilapia por naturaleza es una especie territorial y guardianas de sus crías ante la presencia de depredadores por lo que realizan una incubación bucal de los huevos eclosionados como forma de protección. Posteriormente se le considera cría, cuando llega a alcanzar una talla de 3 a 7 cm. Cuando la tilapia tiene una talla que varía de 7 a 10 cm se considera que está en una etapa juvenil, y cuando presenta tallas de 10 a 18 cm y peso entre 70 y 100 gramos se considera adulto (*op. cit.*).

El crecimiento de la tilapia dependerá de varios factores como: densidad, temperatura, oxígeno, genética y tipo de alimentación. Para producir filetes sin piel de 7 a 9 onzas es necesario producir peces de 900 gramos de peso vivo (NICOVITA, 2017).

2.2.2. Factores ambientales para el cultivo de tilapia

Las tilapias son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales, habitan actualmente en varios cuerpos de agua: arroyos, ríos, lagos, lagunas,

embalses e incluso algunos cuerpos de agua marinos como son las lagunas costeras y esteros de poca profundidad.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos del agua en donde habitan las tilapias tenemos:

Oxígeno disuelto

Dentro de los parámetros físico-químicos, es el más importante en el cultivo de especies acuáticas. El grado de saturación del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y pH (NICOVITA, 2017).

Cuadro 2. Oxígeno disuelto en ppm y mg/l y sus efectos en tilapias de cultivo

Oxígeno (ppm o mg/l)	Efectos
0 – 0.3	Los peces pequeños sobreviven en cortos períodos.
0.3 – 2.0	Letal a exposiciones prolongadas.
3.0 a 4.0	Los peces sobreviven, pero crecen lentamente.
>4.5	Rango deseable para el crecimiento del pez

Las tilapias aguantan concentraciones bastante bajas de oxígeno disuelto, con un requerimiento mínimo de 0.5 mg/l, lo cual les posibilita sobrevivir en condiciones adversas, ello se debería a la función de su sangre a saturarse de oxígeno aunque la presión de éste sea baja. De igual manera, la tilapia tiene la facultad de minimizar su consumo de oxígeno una vez que la concentración en el agua es inferior a 3 mg/l. (Gobierno de Sinaloa, 2016).

Existen varias causas que disminuyen la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, de acuerdo con NICOVITA (2017), tenemos:

- Descomposición de la materia orgánica
- Alimento no consumido
- Heces
- Animales muertos

- Aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura (variación de la temperatura del día con respecto a la noche).
- Respiración del plancton (organismos microscópicos vegetales y animales que forman la cadena de productividad primaria y secundaria).
- Desgasificación: salida de oxígeno disuelto del agua hacia la atmósfera.
- Nubosidad: en días opacos las algas no producen suficiente oxígeno.
- Aumento de sólidos en suspensión: residuos de sedimentos en el agua, heces.
- Densidad de siembra.

Las exposiciones prolongadas de valores bajos de oxígeno disuelto en el agua generan en los peces variaciones fisiológicas y metabólicas, como las mencionadas por Arboleda (2006):

- ✓ Disminuye la tasa de crecimiento del animal
- ✓ Aumenta la conversión alimenticia (relación alimento consumido/aumento de peso).
- ✓ Se produce falta de apetito y letargia.
- ✓ Causa enfermedad a nivel de branquias.
- ✓ Produce inmunosupresión, predisposición a enfermedades y disminución de la capacidad reproductiva.

Temperatura

La temperatura pertenece a los componentes del medio ambiente más relevantes que se tienen que tomar al escoger al elegir un sitio factible para el cultivo de tilapia. Las variaciones del parámetro temperatura a nivel de producción es significativo, debido a que las tilapias son organismos poiquilotérmicos (regulan su temperatura) y necesitan de temperaturas adecuadas para poder metabolizar los alimentos, incrementar su peso y tener inmunidad ante los agentes patógenos, la temperatura adecuada para el cultivo de tilapia es de 27 a 31°C. Por lo antes mencionado, la distribución de los cultivos de tilapia se restringe a un rango de temperatura de entre 20 y 30°C. Se ha observado en experimentos que, si la temperatura disminuye a 15°C, los peces dejan de comer y a temperaturas menores de 12°C y 10°C son mortales, y ante cambios repentinos de 5°C, el pez se estresa y puede sucumbir. Aunque la tilapia es un pez de ambientes tropicales, la temperatura no debe sobrepasar los 30°C, debido a que

consume más oxígeno, por todo lo antes descrito es necesario mantener la temperatura estable en los cultivos acuícolas de esta especie (SAGARPA, 2015).

Potencial de hidrógeno (pH)

Este parámetro sugiere los niveles de iones de hidrógeno, está dado en unos valores que poseen un rango que a partir de 0 hasta el 14, entre más cercano de 0 más ácida es el agua y entre más cercano de 14 más básica, además existe la neutralidad con un valor de 7, en la mayoría los casos requerimos que nuestro estanque tenga un pH alrededor de 7, sin embargo, rangos de 6.5 a 9 son buenos dependiendo la especie acuícola a cultivar. Valores de pH fuera del rango indicado hacen que el pez deje de ingerir alimento, se tenga una alteración del sistema inmune y valores más lejanos del rango óptimo aumentando el riesgo de presentarse mortalidades masivas. El pH del agua del estanque o jaula, depende en la mayoría de las veces pH del río o suelo del estanque (Arboleda, 2006).

Alcalinidad y dureza

La alcalinidad hace referencia al valor de todas las bases presentes en el agua, siendo las principales el carbonato y el bicarbonato, estas sustancias son muy importantes debido a que actúan como buffer y generando que la variación de pH durante todo el día sea el menor posible, en condiciones normales, el agua empleada para el cultivo de tilapia debe contener alcalinidad mayor a 20 ppm. La dureza está ampliamente ligada a la alcalinidad y se refiere a la medida de iones metales o de elemento bivalentes presentes en el agua, siendo los más determinantes el calcio y el magnesio los principales por encontrarse en mayor cantidad en el agua, los valores deseables en el agua son igual a la alcalinidad, por encima de los 20 ppm (Arboleda, 2006).

El Carbono, Nitrógeno y Fósforo en el agua.

El carbono puede ingresar por difusión de la atmósfera al agua, también por realizar el encalado de los estanques o jagüeyes, por procesos de fotosíntesis, por adición de materia orgánica y posterior descomposición de esta en los estanques y en menor medida como resultado de la respiración de los organismos acuáticos. Los peces, al igual que otros organismos, liberan el CO₂ que al interactuar con el agua forman ácido carbónico, el ácido carbónico provoca un decremento del pH en el agua. El Carbonato generado actúa con demás elementos en el agua y genera carbonatos de calcio y

magnesio. El fósforo es otro elemento que se encuentra reaccionando en el agua de cultivo, su principal aporte radica en que es pieza fundamental para la producción de fitoplancton; la fuente principal de este elemento es la materia orgánica, abonos y fertilizantes inorgánicos, en los fertilizantes inorgánicos encontramos el fósforo en forma de fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Arboleda, 2006).

Los peces, y otros organismos acuáticos liberan nitrógeno como producto de su excreción, los peces liberan amonio, que puede ser de dos formas: el amonio no ionizado (NH_3) y el amonio ionizado (NH_4), el primero es tóxico en el agua, a mayor pH mayor es su toxicidad y el pez a mayor pH produce más de ese amonio, el amonio total de origen como producto de descomposición de la proteína, es decir entre más proteína proporcionemos al pez más amonio se produce, y más se deteriora la calidad del agua (Arboleda, 2006).

2.3 Cuerpos de agua

Son diversos los cuerpos de agua en los que se desarrolla el cultivo de la tilapia a nivel mundial, encontrando una clasificación principal para los cuerpos de agua continental de acuerdo con su origen. De lo antes mencionado derivan 2 clasificaciones: cuerpos Lóticos y Lénticos, que se describen a continuación:

2.3.1. Cuerpos Lóticos

Los ecosistemas lóticos son compuestos por ríos y quebradas (arroyos o flujos de agua menores). Las formaciones son en las regiones altas de las montañas, dichos ecosistemas van descendiendo hasta llegar al océano, varios ecosistemas lóticos se unen a otros formando un flujo de agua más grande, es lo que se conoce como orden de los ríos; todos los ecosistemas lóticos se originan como orden 1, 2 ríos de orden 2 al unirse en un mismo punto conforman un río mayor de orden 2, dos ríos de orden 2 al unirse al mismo tiempo en un mismo punto conforman un flujo de río de orden 3, y de esta manera se forman las grandes cuencas, como ejemplo, si un río de orden 6 se une con un flujo de agua de orden 7, así aumente mucho su caudal el río sigue siendo de orden 7 porque para que se forme el orden 8 es necesario que sean dos ríos de orden 7 (Arboleda, 2006).

Los ríos poseen la característica de tener flujos de agua, lo cual se conoce como caudales que es sencillamente la expresión de cierto volumen de agua en cierto tiempo o velocidad que lleva un flujo de agua en cierta área transversal. Los ríos van creciendo más mientras van descendiendo hacia el mar, en la región alta del río (Crenón) existe una mayor cantidad de oxígeno producido, el nivel de materia orgánica acumulada es menor, y el caudal es bastante diminuto, en el Ritrón o región media, existe un cúmulo de materia orgánica y la respiración puede ser similar al oxígeno producido, finalmente en la región del Potamón suceden a menudo inundaciones debido a que el caudal es mayor, alta concentración de materia orgánica, temperaturas cálidas en el agua y la respiración puede ser inferior con respecto al oxígeno producido (García, 2018).

2.3.2. Cuerpos Lénticos

A los ecosistemas lénticos lo conforman los lagos, embalses, lagunas y humedales. Los ecosistemas lénticos pueden ser naturales o artificiales (construidos por el hombre), si son de origen natural, pueden haberse formado por inundaciones de alguna cuenca o pequeños ríos y quebradas, también pueden tener principios fluviales, si ese fuese el caso, entonces son las lluvias las que los mantienen vivos, también pueden formarse por fallas geológicas o de formación glaciaria, en donde los grandes nevados causan depresiones en laderas montañosas o valles (Ingle de la Mora *et al.*, 2003).

Las Lagunas y lagos con profundidades de más de dos metros poseen diferencias de temperaturas entre su epilimnio y su hipolimnio siendo más caliente el epilimnio, dicha variación de temperatura se llama termoclina, así mismo se presenta variación entre el epilimnio y el hipolimnio en cuanto a la luminosidad y producción de oxígeno disuelto debido a que el hipolimnio es muy deficiente en oxígeno disuelto y con enorme acumulación de materia orgánica (Bentancourt y Labaut, 2013).

Estratificación térmica, química e hidráulica

La estratificación del agua en un sistema léntico, hace referencia al arreglo de capas de fluido (agua) en una orientación vertical, como resultado de un ajuste de gradientes originados por densidades del agua (Mees, 2018). Los desniveles son generados por varios factores, destacando: temperatura, concentración de sólidos disueltos y sólidos en suspensión. En embalses tanto naturales como artificiales, las estratificaciones

comúnmente son resultado de la acumulación de altas temperaturas en el agua y la acción de la incidencia solar. Mess (2018), menciona que otras fuerzas que influyen directamente sobre la estratificación térmica en embalses son el viento y la precipitación, además que en las regiones tropicales (como lo es el estado de Chiapas) el viento y la precipitación son reguladores efectivos del fenómeno de estratificación.

En los embalses es común la desestratificación térmica de la columna de agua por acción mecánica los vientos, cambios bruscos de temperatura (generalmente frentes fríos), así como la presencia de precipitaciones. Estas desestratificaciones vienen acompañadas de una serie de alteraciones físicas y químicas del agua, dentro de ellas la incidencia de gradientes verticales decrecientes de oxígeno disuelto, superficies anaeróbicas y con altas concentraciones de hierro y gas sulfhídrico, así mismo los nutrientes resultantes del proceso de descomposición de la materia orgánica, generando como consecuencia un empobrecimiento de la zona superficial por falta de nutrientes para las algas y mortalidad de organismos (Mess, 2018).

2.4 Sistemas de producción

La piscicultura hace referencia al cultivo o sembrado de peces donde de modo vigilado se cosecha, cría, comercializa y consume con ventajas económicas hacia un sector a través del buen uso del suelo y el agua.

Para realizar el cultivo de peces y en específico de tilapia, existen varios tipos de cultivo los cuales se van a clasificar de acuerdo a la densidad de organismos por metro cúbico, la infraestructura para aplicar (empleo de sistema de aireación u otra infraestructura que permita introducir mayor cantidad de peces por metro cúbico). Por lo antes descrito, podemos clasificar los cultivos en 4 sistemas principalmente: extensivo, semi intensivo, intensivo y súper intensivo.

2.4.1. Sistemas extensivos

El sistema extensivo es el cultivo de organismos acuáticos que se realiza para aprovechar cuerpos de agua ya existentes y que por sus condiciones ecológicas suministra alimento natural para mantenimiento de los peces, por lo que es poca o nula la alimentación artificial. En este tipo de cultivo generalmente se agrega abono orgánico

como estiércol de vaca o gallina para aportar nutrientes al agua. Cantidad de 1 pez/m² equivalente a 2,000 peces por hectárea (García, 2018).

En esta escala de producción es económica, puesto que la construcción de los estanques requiere baja inversión. Dentro de las desventajas encontramos que no hay mucha circulación del agua, poco oxígeno disuelto en la misma y posiblemente gran producción de algas y bacterias (SAGARPA, 2015).

2.4.2. Sistemas semi intensivos

Es un sistema de cultivo que se realiza en estanques que han sido construidos, se mantiene a los peces con alimento tipo casero y con alimentos comerciales de manera controlada. Cantidad de 1-5 pez/m² (García, 2018).

Este tipo de cultivo es más elaborado a comparación del sistema extensivo, pero el producto puede tener mejor calidad, por el tipo de infraestructura y la alimentación. En esta etapa se comienza el empleo de alimento extrusado flotantes que contienen niveles de proteínas cercanos al 30-35% que ayudan al desarrollo óptimo de los peces, en este sistema generalmente se dan diferentes tamaños de alimento de acuerdo a la talla de los organismos (SAGARPA, 2015).

2.4.3. Sistemas intensivos

Es un sistema de cultivo que se emplea con el fin de comercializar cría y engorde, se emplean estanques bastante elaborados, con total control de la calidad del agua, la alimentación es concentrada y no se abona el agua. Cantidad de 5-20 pez/m². Aproximadamente 40,000 peces por hectárea (García, 2018).

El alimento empleado para los peces deberá ser de alta calidad, con ración peletizada (extruida o no). La alimentación diaria se racionada al 2-4% de la biomasa total de un máximo diario de 80-120 kg/ha. El alimento natural no tiene gran relevancia en este sistema, derivado a la alta densidad de siembra, pero mejora la eficiencia alimenticia. Se provee de aireación durante las bajas del oxígeno disuelto en el agua. Las producciones en estos sistemas pueden ser de 7.5 a 15 ton/ha/ciclo (Gobierno del estado de Sinaloa, 2016).

2.4.4. Sistemas súper intensivos

Son cultivos que se realiza con el mayor aprovechamiento del estanque y con un control total de la oxigenación y de todos los factores de la calidad de agua. Se emplea alimento concentrando en un alto nivel de proteína. Cantidad de 20-más pez/m² (García, 2018).

Este tipo de cultivo es más complejo, pero el producto tiene una mejor calidad, por el tipo de infraestructura y la alimentación; las cosechas generalmente son altas, debido a la implementación de aireación artificial, circulación de agua en todo momento con la finalidad de mantener los niveles adecuados de desechos; los alimentos empleados son con alto nivel proteínico; se consigue de esta manera un ambiente ideal para el desarrollo de los organismos, pero a pesar de eso se debe realizar una constante supervisión del sistema para evitar la aparición de posibles enfermedades (SAGARPA, 2015).

2.5 Infraestructura empleada en el cultivo de peces

2.5.1. Cultivo en jaulas

Las jaulas flotantes empleadas pueden ser confeccionadas en red de plástico, hierro plastificado o aluminio. La malla retiene a los peces, pero permite el intercambio de agua que retira los desechos. Las jaulas se colocan en cuerpos de agua naturales o artificiales apropiados. Se emplean densidades de siembra de 50 a 100 individuos/m³ en jaulas de gran volumen (>5m³), se cultivan densidades de hasta 300 individuos/m³ en jaulas de pequeño volumen (<10m³) (Gobierno del estado de Sinaloa, 2016).



Figura 8. Sistemas de producción Jaulas Flotantes en el Estado de Chiapas

El alimento empleado en este sistema de producción deberá en su totalidad en raciones peletizadas, el alimento natural no tiene acción en este sistema. En general, en las jaulas flotantes se coloca una malla plástica a la altura correspondiente, que suspenda la calidad del alimento para reducir las pérdidas por efecto de las corrientes creadas por los mismos peces o el ambiente. Las jaulas de pequeño volumen y tamaño resultan ser más productivas por unidad, debido a un mejor y mayor intercambio de agua en su interior, con respecto a las jaulas de alto volumen (por encima de los 10 m³), las cosechas alcanzadas van de 50 a 100 kg/m³ o mayores. En este sistema, se necesita gran cantidad de mano de obra para la alimentación y mantenimiento de las jaulas (García, 2018).

2.5.2 Cultivo en canales rápidos o Raceways

Los Raceways son estructuras con alto flujo de agua, entre 1 y 20 recambios en total de agua por hora. Se emplean generalmente para el cultivo intensivo de salmónidos sobre tierra. Los desechos y residuos (heces y sobras de alimento) son arrastrados por la corriente de agua, fuera del desagüe. La densidad máxima para las tilapias en cultivo, suele ser en estos sistemas es entre 0 a 200 kg/m³ según se la fuente y el porcentaje de renovación de agua implementada y el empleo o no de un sistema de aireación. En este sistema de producción, el oxígeno disuelto será la mayor limitante para el éxito de la producción (Gobierno del estado de Sinaloa, 2016).



Figura 9. Sistema de raceways para el cultivo de tilapia
Fuente: SAGARPA, 2015.

2.5.3. Cultivo en tanques de geomembrana

Esta clase de estanques, junto con los *raceways* han revolucionado el cultivo de peces a sistemas intensivos e hiperintensivos, en los que se manejan altas densidades de siembra, lográndose destacadas producciones en espacios bastante reducidos. Se conoce que esta clase de sistemas tiene un mayor soporte de biomasa de 35 kg/m³ con abasto de aire normal (7% nitrógeno y 21% oxígeno, que son las proporciones normales en el aire atmosférico); alcanzando producciones de hasta 100 kg/m³ o más con empleo de oxígeno puro (Gobierno del estado de Sinaloa, 2016).



Figura 10. Estanques de Geomembrana

Fuente: SAGARPA, 2015.

2.6 Etapas del cultivo de tilapia

Una vez que se ha realizado la siembra de organismos a los estanques de engorda, se comienza con el ciclo de cultivo de la tilapia que consta de las siguientes etapas:

2.6.1 Precría

Esta fase de producción comprende la crianza de alevinos con peso entre 1 a 5 gramos. Generalmente, se realiza en estanques pequeños y con densidades altas que van de 100 a 150 peces por m³, generalmente cuentan con un mediano recambio de agua y empleo de aireación constante o sin aireación, mismo que determinará la densidad de organismos a emplear por metro cúbico, en general se sugieren densidades de 50 a 60 peces por m² y el empleo de recubrimiento total del estanque con malla anti pájaros para controlar la depredación por aves. En esta etapa de cultivo, los peces son alimentados con alimento balanceado que contiene 45% de proteína entre 8 y 10 veces al día.

2.6.2 Levante

Esta etapa de producción está comprendida entre los 5 y 80 gramos de peso. Generalmente, se realiza en estanques de 450 a 1500 m², con densidad de 20 a 50 organismos por m³, con una buena cantidad de recambio de agua (5 a 10% día) y recubrimiento total de los estanques con malla sombra para evitar la depredación.

Los peces son alimentados en su totalidad con alimento balanceado de contenido en proteína 30 o 32%, dependiendo de la temperatura y el manejo que se esté empleando en la granja. Se deberá proveer la cantidad de alimento equivalente del 3% al 6% de la biomasa del estanque y distribuir la ración del alimento entre 4 y 6 raciones al día (NICOVITA, 2017).

2.6.3 Engorde

Esta fase comprende la crianza de la tilapia desde los 80 gramos hasta la talla de cosecha. Generalmente se realiza en estanques de mayores dimensiones y con densidades que van de 1 a 30 peces por m³. En densidades mayores de 12 animales por m³, es necesario contar con el empleo de sistemas de aireación o con alto porcentaje de recambio de agua (40 a 50%) de buena calidad (NICOVITA, 2017).

Los peces son alimentados con alimento balanceado con contenido proteico de 30 o 28%, todo esto dependerá del sistema productivo empleado (extensivo, semi-intensivo o intensivo), la temperatura del agua y el manejo de la explotación. Se recomienda proveer entre 1.2% y el 3% de la biomasa del estanque suministrada en 2 o 3 dosis al día.

2.7 Riesgos y enfermedades en el cultivo de tilapia

Dentro del cultivo de tilapia, la sanidad acuícola ocupa un lugar primordial, debido a las estrategias a desarrollar para prevenir, controlar o erradicar las enfermedades presentes en el cultivo de tilapia. La mortalidad de los peces causa pérdidas económicas importantes y pueden en algunos casos generar la quiebra total de proyectos de cultivo de peces.

La mortalidad de peces puede deberse por varios factores, dentro de ellos tenemos a factores fisicoquímicos del agua, manejo y presencia de agentes patógenos. Las enfermedades son muy comunes cuando los sistemas de producción comienzan a

intensificarse, por lo que es necesario brindarles a los peces el medio adecuado para su desarrollo, así como la implementación de buenas prácticas de cultivo.

Es importante la detección oportuna de problemas en el cultivo para una atención rápida de los factores que estén causando estrés o un desequilibrio en el sistema. De acuerdo con Conroy *et al.* (2008) dentro de los signos y comportamientos anormales en las tilapias encontramos:

- Letargia y pérdida de apetito.
- Pérdida del equilibrio, nado en espiral o vertical.
- Agrupamiento en la superficie y respiración agitada
- Producción excesiva de mucus, lo que da al pez una apariencia opaca.
- Coloración anormal.
- Erosión en la piel o en las aletas.
- Branquias inflamadas, erosionadas o pálidas.
- Abdomen inflamado, algunas veces lleno de fluido o sangre, ano hinchado o enrojecido.
- Exoftalmia (ojos brotados).

Existen diversos factores en los peces que generan los signos o comportamientos antes mencionados, dentro de ellos tenemos:

Factores físicos

- ✓ Temperatura: Las variaciones altas condicionan al animal, haciéndolos más susceptibles a las enfermedades.
- ✓ Luz excesiva: En sistemas intensivos con poca profundidad, los rayos solares pueden ocasionar quemaduras en el dorso del animal.
- ✓ Gases disueltos: El exceso de nitrógeno puede producir la enfermedad conocida como burbuja de gas.

Factores Químicos

- ✓ Contaminación con pesticidas, residuos de metales pesados, desperdicios agrícolas industriales.
- ✓ Desperdicios metabólicos como el amonio y nitritos son altamente tóxicos.

- ✓ Partículas en suspensión causan daños mecánicos sobre las branquias y tapizan las paredes de los huevos, con lo cual impide el intercambio gaseoso y se convierten en substrato para el desarrollo de hongos.

Factores Biológicos

- ✓ Nutrición.
- ✓ Microorganismos: bacterias, virus y parásitos.
- ✓ Algas: algunas producen toxinas.
- ✓ Animales acuáticos: los moluscos como los caracoles, son focos de infección y actúan como huéspedes intermediarios en el ciclo biológico de muchos parásitos.

Manejo

- ✓ Densidad: A medida que se intensifican los cultivos, se incrementa la susceptibilidad de los peces al taque de los distintos agentes patógenos.
- ✓ Precauciones sanitarias: se deben realizar tratamientos preventivos previos al despacho y recepción de la semilla, así como medidas de cuarentena en reproductores.
- ✓ Sistemas de filtración: evitar que entren organismos ajenos como caracoles, peces o huevos, que son transmisores de enfermedades.

2.7.1 Principales enfermedades que afectan a la tilapia

El desarrollo y crecimiento de la acuicultura tecnificada, así como el incremento en los niveles de intensificación de los cultivos, genera riesgos cada vez mayores de incidencia y de propagación de enfermedades en las poblaciones acuáticas. Una de las más grandes amenazas en los cultivos de organismos acuáticos son las enfermedades que son causadas por virus, bacterias y otros agentes patógenos que, dada su rapidez de acción, esparcimiento y alto grado de afectación, pueden llegar a ser difíciles de eliminar o controlar (Lara *et al.*, 2013).

La enfermedad no debe atribuirse a una sola causa, sino que muchas veces esta es de carácter multifactorial, lo que genera que las enfermedades las contemplemos como un proceso totalmente independiente de toda la parte productiva de la granja.

A continuación, se mencionan los patógenos más comunes:

- Bacterias: Las más comunes que pudieran presentarse durante el cultivo son las de los géneros *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, *Vibrio*, *Flexibacter*, *Cytophagna*, *Mycobacterium* y *Nocardia*. Estas bacterias producen enfermedades como septicemias hemorrágicas bacterianas, enfermedad bacteriana del riñón, vibriosis, la enfermedad del pedúnculo caudal, enfermedad bacteriana de las branquias (NICOVITA, 2017).
- Hongos: Los más importantes están representados por los géneros *Saprolegnias*, *Ichthyophonous*, *Branchiomyces* y *Derocystidium*. Estos organismos son los responsables de enfermedades fúngicas en la piel, branquias, hígado, corazón y otros órganos que se infectan a través de la corriente sanguínea. Los hongos pueden causar la muerte por anoxia de gran número de huevos, crías, alevines y adultos (Lara *et al.*, 2013).
- Ectoparásitos: Dentro de los ectoparásitos más comunes tenemos los Ciliofora, como: *Ichthyophthirius*, *Chilodonella*, *Trichodina*, *Trichophyra* y *Apiosoma* (Conroy *et al.*, 2008).
- Copépodos: Géneros como *Lernaea* y *Argulus* se encuentran entre los copépodos, ectoparásitos más peligrosos. Ellos, a través de un órgano de fijación producen heridas que fácilmente adelgazan y se tornan anémicos, lo que finalmente les produce la muerte (Conroy *et al.*, 2008).

2.8 Antecedentes de la producción de tilapia

2.8.1. Producción de tilapia a nivel mundial

La tilapia es una especie íctica originaria de África cuyo cultivo se inició en 1820, extendiéndose posteriormente hacia el norte de Israel y Jordán. Desde ahí se ha extendido a gran parte del mundo, siendo considerada una de las especies de pez más cultivadas, junto con las carpas y los salmónidos, actualmente se cultiva de manera comercial en más de 85 países, estando la mayoría situados en los trópicos y subtrópicos (Gobierno del estado de Sinaloa, 2016).

Por su gran adaptabilidad a la alimentación artificial, su resistencia a soportar condiciones hostiles en cultivo y rápido crecimiento, se consideró a la tilapia para ser la especie ideal en la década de los 60's a los gobiernos de la región latinoamericana que indujeron su introducción para su impulso en pequeñas granjas (FAO, 2018).

El aumento permanente de la producción mundial de tilapia, a partir de la década de los ochenta, se aprueba la importancia que ha tomado este grupo de especies en todo el mundo. Actualmente, se conocen por lo menos 60 especies diferentes de tilapia, 10 de las cuales son utilizadas para el consumo humano (Sistema Producto Tilapia de México, 2012).

La principal limitante en la acuicultura, al igual que en otras actividades agropecuarias, cuando se intensifican los sistemas de producción, es la presencia de enfermedades. En este sentido Pulido (2019) menciona que el incremento en los niveles de intensificación de los sistemas de cultivo viene acompañado de una mayor presentación de alteraciones de tipo sanitario. A pesar de que los peces conviven normalmente con una gran variedad de patógenos potenciales, esta especie de equilibrio se puede alterar por numerosas circunstancias. En el medio existen diversos parásitos y bacterias, así como alteraciones de origen nutricional y de calidad de agua que pueden llevar a brotes de mortalidad en cada etapa de cultivo.

A diferencia de México, el estudio de las enfermedades en los peces, se encuentra bastante desarrollado en países asiáticos como China e India. Para el caso de la tilapia y específicamente en el continente americano, se encuentran varios trabajos en Brasil y Colombia, siendo en este último donde la acuicultura está teniendo un crecimiento acelerado en sistemas de producción de jaulas flotantes y estanquería. Rey (2002) menciona que varios brotes de enfermedades se han reportado en muchas partes del mundo en tilapias cultivadas, siendo mayormente comunes las infecciones por los géneros *Aeromonas* y *Streptococcus*, este último es el que ha recibido mayor atención por los investigadores de enfermedades de peces en varias regiones del mundo, debido a las altas mortalidades que produce en la industria de la tilapia. Fajer – Ávila *et al.* (2017) mencionan que los parásitos juegan un papel importante en la aparición de infecciones, estos actúan dañando la epidermis de la tilapia facilitando la entrada de bacterias como las del género *Streptococcus*.

2.8.2. Producción de tilapia en Latinoamérica

En la década de los 80's, inició el cultivo comercial de tilapia nilótica en Costa Rica, sobre la base de producción intensiva en estanques con elevado recambio de agua y alta densidad de cultivo. Tiempo después, se inicia la actividad comercial en Colombia

con cultivo de tilapia roja, desde tecnología israelí adaptada en aquel territorio (Gobierno del estado de Sinaloa, 2016).

El detonador del crecimiento de los sistemas productivos a niveles comerciales de las tilapias, fue el descubrimiento de la tecnología denominada reversión sexual, obtenida por el uso de la hormona 17-alfa-metil testosterona en el alimento. Si bien ya se empleaba el sexado manual de juveniles con supresión de hembras y el cultivo en sistemas de jaulas, o el policultivo con peces carnívoros, crustáceos o moluscos, se considera que esta técnica de obtención de poblaciones de machos monosexos, es el que mayor beneficio ha producido en comparación con los otros.

El cultivo de la tilapia en América Latina continúa aumentando su diversificación, principalmente en el área de productos frescos e inocuos encaminados hacia los grandes mercados de EUA y la Unión Europea. Por otro lado, continúa aumentando la demanda por tilapia en los mercados de Brasil, México y Colombia, así también del número de consumidores de tilapia en sus diferentes presentaciones (fresco, filete, etcétera); los países consumidores también van en aumento (Castillo-Campo 2009, en: Sistema Producto Tilapia Nacional de México, 2012).

En Latinoamérica el principal productor es Brasil con una producción en 2007 de 95,091 toneladas; en los últimos años la producción de tilapia brasileña está experimentando un crecimiento exponencial, con un gran número de empresas con planes de producir.

En segundo lugar, se encuentra el país de Honduras como resultado de la producción exitosa de tilapia principalmente en jaulas con variedad de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y un en menor proporción en sistemas intensivos con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en estanques, con una producción de 28, 356 t en 2007 (FAO, 2020). En tercer lugar, encontramos a Colombia, con producción principalmente de tilapia roja (*Oreochromis sp.*), tenido solo demanda en tilapia entera y en menor proporción con tilapia nilótica (*O. niloticus*), siendo esta demanda en la presentación de entero muy baja en el país, por lo que se encuentra enfocada casi exclusivamente a la producción de filetes para exportación (Sistema Producto Tilapia Nacional de México, 2012).

2.8.3 Antecedentes de la producción de tilapia en México

En México, la tilapia (procedente de EUA) fue introducida en 1964. Los ejemplares de las especies *Tilapia rendalli*, *Oreochromis mossambicus* y *Oreochromis aureus* fueron depositados en la estación piscícola de Temazcal, Oaxaca. Posteriormente los organismos se distribuyeron ampliamente en una gran cantidad de diferentes embalses naturales y artificiales de agua (Sistema Producto Tilapia de México, 2012).

De acuerdo con la base de datos de los anuarios presentados en SAGARPA, la tilapia ha adquirido gran importancia en la tabla nutrimental del pueblo mexicano. Ha llegado a tal la importancia, que se considera que en años futuros será tal su importancia que permitirá el aumento de consumo de proteína animal, generará empleos, disminuirá la migración, la pobreza y aumentará la seguridad alimentaria (SAGARPA, 2015).

La acuicultura ha tenido un desarrollo favorable en nuestro país, se ha incrementado su importancia como una gran oportunidad para abastecer las demandas presentes y futuras de alimentos de origen acuático, con un alto nivel nutricional y mejor costo que proteínas de otro origen. La mayoría de los estudios relacionados con la acuicultura realizados en México, se ha dedicado a unas pocas especies de mayor importancia por su valor comercial (tilapia, trucha, bagre y carpa), así como por su alta aceptación en los mercados nacionales e internacionales (SENASICA, 2017).

En México se cultivan *O. niloticus*, *O. mossambicus*, *O. aureus* e híbridos de *Oreochromis* spp. en estanques y jaulas flotantes. Con este último método se obtiene más del 90% de la producción de tilapia en el país (Soto, 2009).

Si bien, la acuicultura tiene como objetivo principal la producción de proteína animal para el consumo humano, puede ser considerada como una herramienta para la conservación de especies endémicas y nativas en peligro. El desarrollo y crecimiento de la acuicultura requiere la implementación de acciones que prevengan y controlen la posible presencia de enfermedades que afecten a los organismos en las unidades de producción acuícola. Es por ello, que la sanidad acuícola ocupa un lugar prioritario en el éxito de esta actividad (SENASICA, 2017).

En México se tienen varios trabajos realizados para el manejo correcto del cultivo de la tilapia con fines de capacitación a productores y al público en general, como lo ha descrito Nicovita (2017), quien presentó un manual de crianza de tilapia a través de la

implementación de las Buenas Prácticas de cultivo en los diferentes sistemas de producción. Otras investigaciones como las realizadas por Poot-López *et al.* (2012) encontraron que el uso de insumos complementarios disponibles regionalmente como la chaya, puede favorecer el desarrollo de cultivos de tilapia a pequeña escala en los trópicos.

Para el caso de las enfermedades que afectan al cultivo de las tilapias, se tienen varios trabajos, por ejemplo, Soto (2009) realizó el análisis de ocho características fisicoquímicas (temperatura, pH, oxígeno disuelto, amonio, nitratos, nitritos, fosfatos y alcalinidad) en varios puntos de las presas Adolfo López Mateos, El Salto y El Dique IV, todas en el estado de Sinaloa; con éstos registros de calidad del agua identificó condiciones de estrés que pueden padecer los organismos cultivados, para la toma de medidas preventivas y evitar mortalidades; así mismo identificó a nivel género las bacterias que presentan un peligro potencial para crear enfermedades en tilapias bajo condiciones de estrés. También se tienen trabajos específicos de grupos de bacterias como lo descrito por Lara-Flores *et al.* (2013) donde determinaron la presencia y prevalencia de *Mycobacterium* spp., en granjas de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en el Municipio de Champotón, Campeche, encontrando ésta bacteria de manera constante y en alta prevalencia, siendo un factor que puede estar disminuyendo la rentabilidad del cultivo.

En el ámbito de los parásitos, Fájler-Ávila *et al.* (2017) describen de manera general el impacto de los parásitos en el cultivo de tilapia, así mismo algunas estrategias, incluyendo la aplicación de tratamientos naturales como una alternativa a los agentes químicos o fármacos, que deberían considerarse para la prevención de eventos epidémicos.

En México también se han realizado estudios referentes a las bacterias zoonóticas, es decir que se transmiten de los animales (en este caso los peces) a los seres humanos. Dentro de éstos trabajos se puede citar a Mancilla (2015) quien realizó un estudio en la zona lacustre de Xochimilco, D.F., en canales con diferente grado de perturbación agrícola y urbana con la finalidad de evaluar las concentraciones de bacterias mesófilas y *Aeromonas* en muestras de agua y sedimento, además de piel, branquias y contenido estomacal en ejemplares de tilapia *Oreochromis niloticus*; en éste estudio

encontró que la mayor concentración de bacterias se encuentra en el sedimento, agua y contenido estomacal de los peces, así mismo en piel y branquias, identificándose un total de ocho especies de bacterias del género *Aeromonas* y finalmente determinando que el agua, el sedimento y la tilapia actúan como reservorio de cepas potencialmente patógenas, representando un riesgo potencial para la población que los manipula y los consume.

2.8.4 Producción de tilapia en Chiapas

El estado de Chiapas cuenta con 15 ríos permanentes y 40 estacionales, además de cuatro presas hidroeléctricas (Angostura, Malpaso, Peñitas y Chicoasén) sobre las cuales se desarrolla el cultivo de tilapia. Por lo antes mencionado, el estado de Chiapas es el principal productor de mojarra tilapia en México con poco más de 27,000 toneladas anuales (OSIAP, 2019). El 95% de esta producción se obtiene de unidades de producción establecidas en los embalses Malpaso y Peñitas, mismas que representan el 60% de la totalidad de las Unidades de Producción (UPA's) atendidas por el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas A.C. (CESACH). Estas UPA's realizan el cultivo de tilapia empleando el sistema de producción en jaulas flotantes, las cuales son de diferentes formas (circulares, cuadradas, rectangulares) y tamaños (3 m, 6 m, 12 m, 15, 20 m), teniendo un periodo de engorda en ellas de 5 a 6 meses y con un peso promedio de los peces a cosecha de 800 gramos.

Es importante mencionar que en estas áreas donde se cultiva la tilapia de manera exitosa existen zonas de riesgo en donde la calidad del agua se ve afectada por factores climatológicos y fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua. La calidad del agua destinada para la acuicultura debe presentar condiciones óptimas para los peces, ya que es un elemento que suministra o sostiene las necesidades primordiales como son: respiración, nutrición, reproducción y crecimiento. A medida que se aumenta la intensidad de siembra en estos sistemas de cultivo, los requerimientos de manejo, intercambio de agua, aireación y tasas de alimentación (recursos suministrados) se intensifican.

Como antecedente a lo antes mencionado, se tiene que, en el mes de noviembre de 2016 en la Presa Peñitas en el Estado de Chiapas, se presentó un evento ambiental denominado Surgencia de las aguas, provocando la mortalidad de más de 120

toneladas de mojarra tilapia con un valor comercial de más de \$ 4,800,000.00 afectando a 150 productores. Esto no es más que un desplazamiento vertical de las aguas, es decir, las aguas superficiales son desplazadas hacia el fondo, ocasionando baja concentración de oxígeno disuelto en las aguas superficiales.

En el estado de Chiapas, actualmente no existen registros de las enfermedades que afectan al cultivo de las tilapias, no se conoce su distribución, el comportamiento de las mismas y la frecuencia de presentación en las explotaciones, a pesar de ser el principal productor de tilapia en México según lo descrito por el SIAP⁵ (2019) que menciona que en el estado de Chiapas en el año 2015 se alcanzaron las 27,000 t anuales de tilapia, de las 53,358 t producidas en México según FAO (2017).

Los únicos trabajos realizados en este estado son referentes a: Inventarios de especies (Martínez, 2009; Villatoro, 2006); biología (García, 2007; Ovando, 2007); ecología (Anzueto, 2008; Ovilla, 2009). Así mismo, se tienen estudios realizados en tilapia como el realizado por Gold-Bouchot *et al.* (2006), quienes evaluaron el nivel de contaminación por metales pesados, hidrocarburos y pesticidas (organoclorados) en músculo de tilapia por actividades de extracción de petróleo en tres diferentes lagos del municipio de Reforma, Chiapas a través de la vía ethoxyresorufina O-deetilasa (EROD), el método PHA metabolitos y la actividad de la butirilcolinesterasa (BChE). En este estudio se encontró la presencia de metales pesados en músculo, así como niveles moderadamente altos de Hidrocarburos en hígado de los peces con respecto a otros estudios realizados en diferentes ecosistemas en México; así también se detectó en el río Limón altos niveles de hidrocarburos. En general con este estudio se demostró que existen altas concentraciones de contaminantes en los peces, mismos que pueden causar efectos en el metabolismo de las tilapias que habitan en estos lagos.

En cuanto al cultivo de tilapia en el estado de Chiapas, se tienen trabajos como el realizado por Vázquez-Ramírez *et al.* (2019) quienes realizaron una caracterización de los sistemas de producción acuícolas que se desarrollan en el territorio Chiapaneco, en éste sentido se evaluaron un total 65 unidades de producción de las 190

⁵ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

empadronadas y atendidas por el CESACH⁶ AC, encontrando en éstas que el 40% de las granjas producen bajo el sistema en jaulas flotantes sobre embalses, el 64.21% son semi-intensivas, así mismo en un análisis de componentes principales se encontró que en una unidad de producción acuícola son las fuentes de abastecimiento de agua y el tipo de infraestructura de los estanques o jaulas son los componentes importantes, también encontraron que las unidades que desarrollan la producción en el sistema de jaulas flotantes son más eficientes durante su ciclo de producción.

Así mismo se han realizado estudios en otras especies para determinar su potencial para la acuicultura, como es el caso de lo descrito por Rivera-Velázquez *et al.* (2014) quienes realizaron un estudio de composición corporal del músculo de ocho diferentes especies de peces de importancia relativa en la presa Netzahualcóyotl, Chiapas, en donde determinaron en base a las características del Índice de Importancia Relativa y el análisis proximal en laboratorio, las especies potenciales para cultivo intensivo en estanques o jaulas flotantes como una alternativa de producción acuícola, además sientan las bases para futuros trabajos relacionados con estas especies.

Como se observa en esta revisión, no se tienen registros de estudios referentes a las enfermedades presentadas en los cultivos de tilapia en el estado de Chiapas, por lo que la realización de este trabajo será de una importancia significativa para el aporte en el conocimiento de los agentes patógenos que afectan al cultivo de la tilapia en el estado de Chiapas.

⁶ Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas A.C.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La presente investigación se realizó en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas, que de acuerdo con CONAPESCA⁷ (2015) se localiza en los límites de Depresión Central y de la Sierra Madre del Sur. Geográficamente se sitúa entre los paralelos 17° 11' 58" de latitud norte y entre los meridianos 93° 36' 17" de longitud oeste. Limita al norte con los municipios Tecpatán y Mezcalapa al este con Copainalá y Tecpatán al sur con Ocozocuahtla, al oeste con Ocozocuahtla y Mezcalapa. Su extensión territorial es de 9,403 km² y su altitud es de 178 msnm. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (50.37%), cálido húmedo con lluvias todo el año (49.11%) y semicálido húmedo con lluvias todo el año y temperaturas de 20 – 28°C. El rango de precipitación y temperatura media anual promedio es de 1500 – 3500 mm³ y 26°C respectivamente (Figura 11). Los productores están asociados en grupos, integrados por 120 productores, los cuales cuentan con 76 unidades de producción o jaulas, en una superficie de 80 ha.

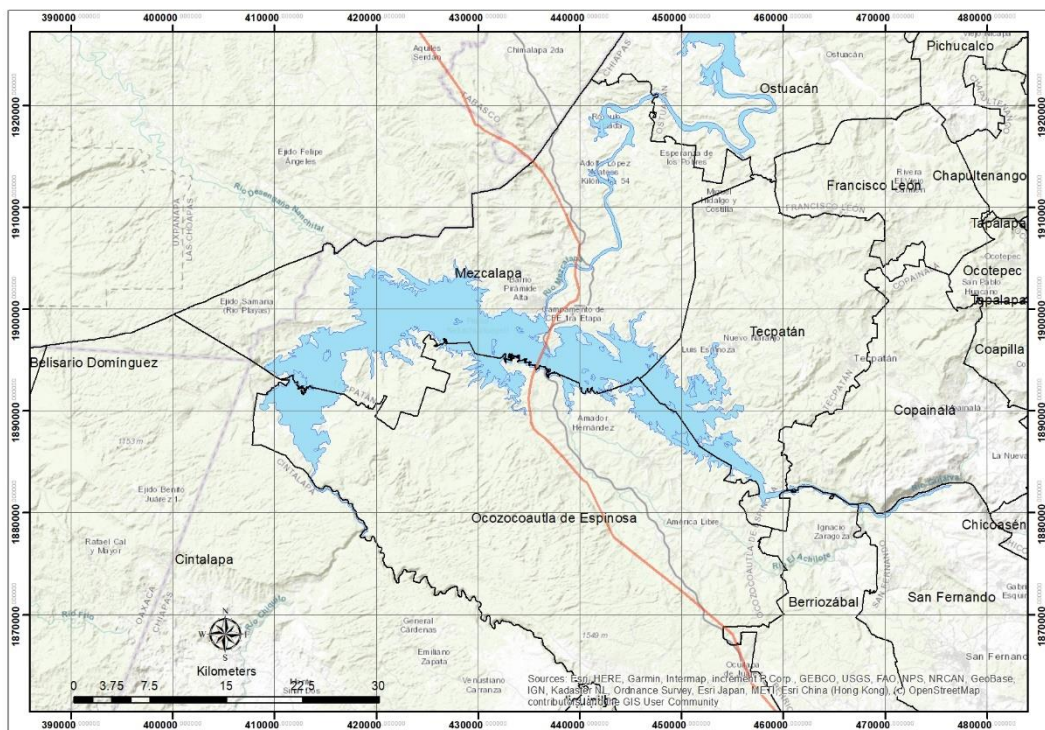


Figura 11. Presa Netzahualcóyotl (Malpaso)

⁷ Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca

3.2 Etapa 1. Tipificación de las unidades de producción del cultivo de tilapia en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

3.2.1 Marco de muestreo

Para la realización del presente estudio, se tomó una base de datos con el listado del padrón de productores en la presa Malpaso, agremiados al Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas (CESACH) A.C., obteniéndose un total de 76 Unidades de Producción (UPA's) productores de tilapia activos, organizados en sociedades cooperativas o como personas físicas.

3.2.2. Diseño del muestreo y tamaño de muestra

Se utilizó un muestreo estratificado con asignación Neyman (Scheaffer *et al.*, 1987) basado en las 76 unidades de producción que se encuentran empadronados como unidades atendidas por el CESACH A.C., siendo el tamaño de las unidades de producción la base de la estratificación.

El tamaño de muestra se calculó con una precisión del 10 % de \bar{Y} y 95 % de confiabilidad, seleccionándose 40 unidades de producción (UP) en la presa Malpaso, distribuidas en tres estratos: (cuadro 3). El muestreo será seccional cruzada.

Estimación del tamaño de muestra

$$n = \frac{\left(\sum_{i=1}^L N_i s_i\right)^2}{N^2 D + \sum_{i=1}^L N_i s_i}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra.

L = número de estratos.

N_i = número de unidades de muestreo en el estrato i .

N = total de unidades de muestreo en la población.

s = varianza del i -ésimo estrato.

D = Limite del error de estimación.

Asignación de la muestra a cada estrato

$$n_i = n \left[\frac{N_i s_i}{\sum_{i=1}^L N_i s_i} \right]$$

Donde:

n_i = tamaño de la muestra en el estrato i .

n, L, N_i, N, s_i = Definidas anteriormente

Cuadro 3. Tamaño de muestra y estratos

ESTRATO	NUMERO DE JAULAS	NUMERO DE UPA'S	TAMAÑO DE MUESTRA
1	1 A 10	21	11
2	11 A 20	27	14
3	21 A 30	11	6
4	31 A 40	5	3
5	41 A 50	8	4
6	MAS DE 50	4	2
	TOTAL	76	40

3.2.3 Métodos y técnicas de laboratorio

Para la tipificación de las unidades de producción, se usaron entrevistas semiestructuradas que fueron aplicadas a los productores en cada una de las Unidades de Producción Acuícolas (UPA's). Ésta herramienta en cada UPA presentó indicadores referentes a las características de la unidad de producción, infraestructura, alimentación, sanidad y análisis de riesgo, manejo, genética y reproducción; adicionalmente se empleó la observación directa de las UPA's seleccionadas.

3.2.4 Análisis de datos

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos de los datos provenientes de la encuesta y se asignaron las ponderaciones según el diseño de muestreo utilizado. (Steel *et al.*, 1997). Los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS V8.0 (SAS, 2001).

3.3 Etapa dos. Caracterización de los Parámetros fisicoquímicos del agua de la Presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

3.3.1 Marco y área de muestreo

Para obtener los parámetros fisicoquímicos del agua de la presa Malpaso, se seleccionaron diez puntos de muestreo en todo el embalse, en donde realiza la actividad de producción y/o pesca de tilapia, siendo estos los más importantes y representativos de la actividad, seleccionándose los siguientes; Bellamar, Río Azul de Láminas 4, Los Alevines, Río Yomo, S.C. Acuacultores 13 de Septiembre, El Bambú, Impulsores del Sureste, El Gran cañón, Embarcadero Apic Pac, Acuacultores el Recreo de Quechula, se tomaron datos históricos de dos años atrás a la fecha.

3.3.2 Variables evaluadas

Las variables evaluadas para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua fueron; Temperatura (°C), Oxígeno disuelto (mg/l), pH, Alcalinidad (mg/l), Amonio (mg/l), Nitritos (mg/l), Dióxido de carbono (mg/l), Dureza (mg/l) y Transparencia (metros) en cada uno de los puntos seleccionados.

3.3.3 Métodos y técnicas de laboratorio

1. Para la toma de oxígeno disuelto y temperatura, se empleó un oxímetro marca YSI PRO a las profundidades de 1 m, 3 m, 5 m, 10 m, 15 m y 20 m. Así mismo, se realizó la determinación del gradiente de la disponibilidad de oxígeno en la columna de agua.
- 2.- Para la medición del pH, nitratos, nitritos y amonio se realizaron mediante el empleo del kit Lamotte AQ2 Fresh Water. En caso de que se hayan encontrado valores altos de nitratos, nitritos y amonio, éstos se corroboraron mediante el empleo del fotómetro Hanna HI355.
- 3.- Para el caso de la turbidez, ésta se midió con un disco de secchi.

3.3.4 Análisis de datos

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos y las medidas de tendencia central de los datos provenientes de las mediciones de cada variable, se asignaron las ponderaciones según el diseño de muestreo utilizado, así mismo se realizaron correlaciones entre las variables e identificó la calidad del agua con los requerimientos

de a tilapia en la literatura, (Steel *et al.*, 1997). Los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS V8.0 (SAS 2001). Por otro lado, para describir el comportamiento de la calidad del agua durante los meses del año con las variables temperatura, oxígeno, pH, alcalinidad, dureza, concentración de amonio, concentración de nitritos y turbidez, se realizó un análisis multivariado clúster jerárquicos por medio del método de Ward para el agrupamiento de los clúster, con esto se obtuvo un dendograma utilizando una vinculación de Ward mediante la distancia euclídea al cuadrado, debido a que los valores de las variables no fueron homogéneos se estandarizó por medio de las puntuaciones Z, para la formación de los grupos en el dendograma se utilizó una distancia de 8. Se obtuvieron las medias y el error estándar de las variables evaluadas para cada uno de los cluster. Posteriormente se realizó una reducción de factores mediante un análisis factorial utilizando las variables; temperatura, oxígeno, pH, alcalinidad, dureza, concentración de amonio, concentración de nitritos y turbidez utilizando la matriz de correlaciones KMO y prueba de esfericidad de Bartlett, posteriormente se elaboró una gráfica con las variables generadas. (Steel *et al.*, 1997). Los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS V8.0 (SAS, 2001).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Etapa 1. Tipificación de las unidades de producción del cultivo de tilapia en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

Con la implementación de 40 encuestas semiestructuradas a productores tilapia en el sistema de jaulas flotantes en la presa Malpaso, Chiapas, se encontró que 77.5% de los encuestados tiene acceso a su unidad de producción a través de un desplazamiento acuático mediante el empleo de embarcaciones menores (lanchas) y 22.5% restante se desplazan por terracería a las granjas, estos datos concuerdan con lo expuesto por la Comisión Nacional Pesca y Acuicultura (CONAPESCA) en 2015, mencionando que el movimiento de las personal y las cosechas de tilapia se realizan transportando a estos vía fluvial a los principales puntos de embarque como son Apic-Pac, Raudales Malpaso y en las instalaciones de la organización Rio Azul Láminas Cuatro. Únicamente 27.5% de las unidades de producción cuenta con energía eléctrica, de las cuales 60% es suministrada por la Comisión Federal de Electricidad y un 40% de plantas generadoras de energía de propiedad del productor.

Como se observa en la figura 12, las actividades productivas complementarias a la actividad acuícola por parte de los productores, 65% se dedican a la ganadería, 15 % a la pesca, 12.5% a ninguna actividad, 5% a la agricultura y un 2.5% al comercio. Ésta información es diferente a lo presentado por CONAPESCA (2015), en donde se menciona que la principal actividad complementaria de los acuicultores es la pesca, seguido a la ganadería y la agricultura, además menciona que la mayor parte de los acuicultores han emigrado de la actividad pesquera a la acuícola y que casi la totalidad de los productores siguen teniendo una actividad pesquera muy fuerte; comentarios personales de los productores durante las encuestas, mencionaron que actualmente la mayoría de los productores se dedicaban a la producción pecuaria, invirtieron en la acuicultura al observar una mejoría notable en la economía de los pescadores que optaron por convertirse acuicultores, por lo que muchos ganaderos iniciaron con la actividad acuícola hace aproximadamente tres o cuatro años.

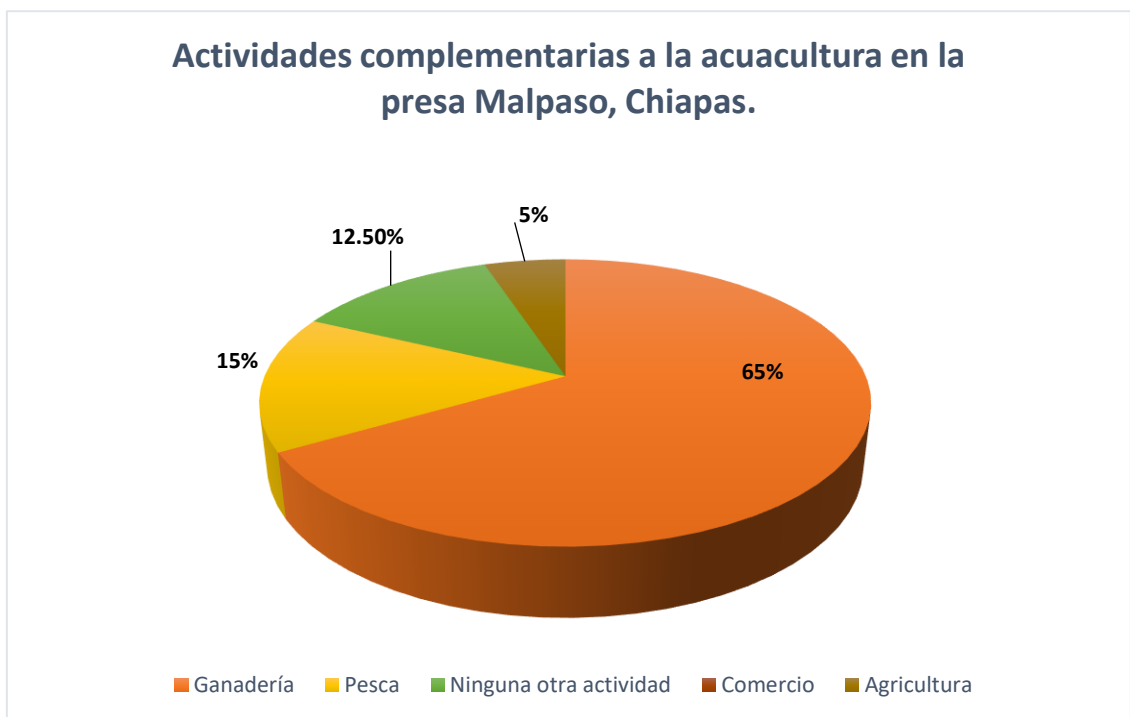


Figura 12. Actividades complementarias a la acuicultura en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso)

En cuanto al número de trabajadores empleados en las granjas de peces, se encontró que en ellas se ocupan 2.98 ± 3.10 trabajadores, con un mínimo de 0 y un máximo de 12; así también de estos trabajos, 50% son estables o de planta, 30% son eventuales y un 20% de las granjas ocupan de ambos trabajos.

En cuanto a la tenencia del predio acuícola, se encontró que un 60% de los productores cuentan con un permiso de acuicultura, 37.5% se encuentran en trámite de su permiso acuícola y un 2.5% cuenta con una concesión acuícola, esta información difiere con lo reportado por CONAPESCA (2015), quien menciona que en ese momento 82% de las unidades de producción activas no contaban con permisos o registro ante las autoridades correspondientes, debido a que en su mayoría eran unidades de producción que estaban en periodo de aprendizaje o de reciente creación, por lo que gran parte de los productores han regularizado su situación ante las autoridades correspondientes.

Para el caso de la superficie (espejo de agua) con que cuenta las granjas para realizar sus actividades productivas es de 0.26 ± 0.18 hectáreas, con una mínima de 0.23 y una máxima de 0.8 hectáreas. 70% de los productores encuestados cuenta con espacios productivos que van desde 0.023 a 0.32 hectáreas, 30% restante posee de 0.38 a 0.8 hectáreas. CONAPESCA (2015), menciona que el promedio de la superficie empleada

en las unidades de producción es de 2 a 5 hectáreas y de 5 a 10 hectáreas para las sociedades cooperativas, lo anterior difiere de los resultados encontrados durante las encuestas realizadas debido a que varias de las unidades de producción se fraccionaron y dividieron su superficie entre todos los socios que conformaban la UPA o sociedad cooperativa.

Infraestructura

En la infraestructura productiva (jaulas flotantes) con que cuentan las granjas para la producción de tilapia, se determinó en 33.8 ± 44.46 , con un mínimo de 4 y un máximo de 254, difiriendo con lo encontrado en el Ordenamiento Acuícola en el estado de Chiapas realizado en 2015 por la CONAPESCA en donde se menciona que los productores cuentan con pocas jaulas por tratarse de productores que están iniciando la actividad y en su mayoría contaban en ese momento con 6 jaulas flotantes.

Cuadro 4. Cantidad de jaulas flotantes por tamaño

Tamaño de jaula	Cantidad
3 x 3 m	39
3 x 6 m	520
5 x 5 m	2
6 x 6 m	286
6 x 9 m	19
9 x 9 m	1
10 x 10 m	3
12 x 6 m	14
12 x 12 m	393
15 x 15 m	25
20 x 16 m	1
24 x 24 m	9
9 m diámetro	1
15 m diámetro	8
18 m diámetro	65
Total	1,386 jaulas

Para el caso del tamaño de las jaulas flotantes, se encontraron 15 diferentes tamaños y formas: cuadradas medidas en metros 3x3, 5x5, 6x6, 9x9, 10x10, 12x12, 15x15 y 24x24, rectangulares medidas en metros 3x6, 6x9, 12x6 y 20x16 y circulares (9, 15 y 18 metros de diámetro); sumando un total de 1,386 jaulas flotantes (cuadro 4); al respecto CONAPESCA (2015), menciona que en caracterización de la producción se encontraron solamente jaulas de 5 medidas que son: cuadrada (3x3 m, 6x6 m y 12x12 m), rectangulares (3x6 m) y redondas de 12 metros de diámetro, por lo que con las encuestas realizadas se observa que hay una tendencia de cambio de las dimensiones de las jaulas empleadas para el cultivo de tilapia de acuerdo a las necesidades de cada uno, así mismo en este trabajo realizado en 2015 hace mención que se encuestaron un total de 81 granjas y sociedades cooperativas haciendo una suma de 1,213 jaulas flotantes, que resulta ser un número menor a lo registrado durante esta etapa de muestreo y solamente considerando a 40 granjas. Se determinó también que las jaulas predominantes son las de 3 x 6 m con un total de 520 unidades lo que representa 37.5% de la totalidad de las jaulas con que cuentan las granjas encuestadas, seguida de las jaulas de 12 x 12 m con 393 unidades y las de 6 x6 m, siendo estas últimas dos para la engorda de tilapia y las primeras (jaulas de 3x6 m) empleadas en su mayoría para la recepción de alevines en la llegada a la UPA o para la reproducción de los mismos. 75% de los productores poseen de 2 a 34 jaulas y 25% restante posee de 46 a 254 jaulas, por lo que la gran parte de los productores de la presa Malpaso, los podemos catalogar como pequeños y medianos productores.

De los productores encuestados, 80% cuenta con una bodega de alimento y 20% no cuenta con esta infraestructura para el almacenamiento de alimento para consumo de los peces. En cuanto al material del cual se encuentra hechas las bodegas, 55% son de lámina, 25% de madera y un 20% de concreto. Además de que 55% de las bodegas son flotantes para facilitar el traslado de alimento a las jaulas y un 45% se encuentran en tierra firme.

Sanidad e inocuidad

De las unidades de producción, 57.5% no cuentan con políticas de ingreso a las diferentes áreas, 72.5% de las granjas no cuentan con medidas de bioseguridad y desinfección (tapetes sanitarios, arcos sanitarios,) para evitar la entrada o diseminación de algún agente patógeno o contaminación hacia la granja. El 67.5% de las granjas no cuentan con dispositivos o trampas para evitar la entrada o eliminación de plagas y fauna nociva a las granjas, con lo que se tiene un alto potencial de contaminación del alimento y de los organismos.

El 80% de las unidades de producción no realiza el monitoreo de la calidad del agua en las granjas y 20% restante solo realiza el monitoreo de oxígeno disuelto y temperatura en el agua. Esto ocasiona que en la mayoría de las granjas no se cuente con registros de la calidad del agua y por ende no se puedan tomar acciones rápidas para evitar mortalidad de organismos ante la presencia de mala calidad del agua.

En cuanto a la presencia de peces muertos, 90% de los encuestados manifestó que los peces se van a una fosa de desechos, el 7.5 incinera los peces y un 2.5% tiran los restos a la intemperie.

Para el caso de las enfermedades que afectan al cultivo de peces, 62.5% manifestó tener mayor presencia de hongos en su cultivo y 37.5% presencia de agentes bacterianos. En las granjas productoras de tilapia se realiza el empleo de medicamentos veterinarios sin conocimiento alguno, en este estudio se encontró que 77.5% de los productores realizan el empleo de antibióticos. De los productores que emplean fármacos, 77.5% menciona que, si recibe asesoría técnica para emplearlos, mientras que un 22.5% de los productores emplea el uso de fármacos veterinarios sin tener asesoría técnica y seguimiento en la aplicación y dosificación de los mismos, por lo que se podría estar generando resistencia a los antibióticos. En cuanto a los fármacos empleados por los productores, 77.5% manifestó emplear oxitetraciclinas. 17.5% sulfas y el resto emplea enrofloxacinas. 77.5% de los productores que emplean fármacos emplean tiempos de retiro para los fármacos con promedio de 4 semanas.

En cuanto a las buenas prácticas de cosecha, 60% de los productores emplean mesas de acero inoxidable u otros metales para los trabajos de eviscerado, descamado y manipulación de organismos durante la cosecha, mientras que un 25% realiza el

empleo de mesas de concreto y un 15% emplea mesas de madera, mismas en las que se pueden acumular bacterias y hongos que pueden contaminar el producto final (SENASICA, 2008). 77.5% de las granjas encuestadas no se encuentran certificadas en Buenas Prácticas Acuícolas, mientras que 22.5% se encuentran certificadas o en proceso de certificación.

Manejo

El 60% de las unidades de producción tienen en su sistema la producción de alevines y engorda, los alevines se producen con la finalidad de emplearlos en la engorda de la misma UPA y en caso de existir un excedente este es vendido a otros productores; 40% restante se dedica exclusivamente a la engorda de tilapia. En relación al tiempo que tarda el ciclo de producción que abarca desde la siembra de organismos hasta la cosecha, 95% de los productores tiene un ciclo productivo de 4-6 meses, mientras que un 5% de 7-8 meses de duración. 92.5% de los productores realizan dos ciclos productivos al año, mientras que un 5% realiza un solo ciclo y 2.5% realiza hasta tres ciclos productivos.

Las densidades de producción empleados para el cultivo de tilapia en jaulas flotantes son calculadas en base a metros cúbicos de cada jaula, en ese sentido 70% de los productores emplean una densidad que va desde por debajo de los 20 peces/m³ hasta los 25 peces/m³, mientras que el 30% de los productores emplea una densidad mayor a 25 peces/m³ y hasta los 30 peces/m³, siendo en estas últimas donde se han presentado mayores problemas sanitarios durante el ciclo de producción.

El 100% de los productores acuícolas realiza el empleo de alimento balanceado de diferentes casas comerciales y de tamaño de partícula acorde con las diferentes etapas o tamaños de los organismos, destacando con 55% de preferencia en el consumo por la marca Purina®. En cuanto al manejo de alimento, 72.5% de los productores emplea las buenas prácticas de almacenamiento del alimento, mismo que consiste en el empleo de tarimas, acomodo de sacos, separación de lotes y tamaños de alimentos, así como separación del alimento de paredes para evitar la proliferación de insectos, roedores, presencia de humedad y microorganismos como hongos (SENASICA, 2008); 27.5% de los productores restantes no realiza estas buenas prácticas, por lo que se generan condiciones apropiadas para la proliferación de

organismos y microorganismos causantes de contaminación del alimento balanceado (NICOVITA, 2017).

El 62.5% de los productores alimenta los peces a saciedad sin realizar la medición de los parámetros de calidad del agua ni realizar evaluaciones de biomasa (biometrías) para determinar la cantidad de alimento a suministrar ni tampoco el tamaño de partícula a proporcionar, esta actividad solamente lo realizan el 10% de los productores y 27.5% alimenta al tanteo sin tener una base para la determinación de la cantidad.

Para el caso de la presencia de eventos de mortalidad, 75.2% de los productores encuestados manifestó que tienen mayores problemas asociados a mortalidades durante los meses de julio y agosto, mientras que 22.5% tiene eventos de mortalidad durante los meses de mayo-junio y un 5% durante los meses de noviembre-diciembre. Por lo antes mencionado, 90% de los productores manifiesta que las mejores fechas para el cultivo de tilapia son durante los meses de marzo y abril.

Cosecha de producto

La cosecha del producto se realiza durante todo el año, siendo los meses de marzo y abril los más productivos por las fechas de la semana santa. 55% de los productores realizan las cosechas totales de los organismos, 35% de las granjas realizan cosechas parciales con la finalidad de disminuir la densidad de organismos dentro de una jaula, así como disminuir la biomasa en las jaulas y por ende bajar el estrés en estas, finalmente un 10% realiza cosechas totales y parciales de manera conjunta. 62.5% de los productores cuentan con un área específica para el sacrificio de los peces y 37.5% no cuenta con un espacio físico, por lo que se realiza en las embarcaciones, a orilla de la presa o dentro del agua, con ello creando un riesgo grande contaminación por microorganismos en el producto final.

El 67.5% de los productores, emplean como método de sacrificio el degolle mismo que consiste en el desangrado de los animales hasta su muerte, bajando con ello la calidad del producto; mientras que un 32.5% lo realiza a través de shock térmico con el empleo de agua hielo, mismo que conserva la calidad del producto y evita la rigidez de los músculos. 75% de los organismos cosechados son transportados con hielo como medio conservador hasta su destino final.

Origen del insumo biológico

Los alevines empleados en las unidades de producción, 57.5% de las unidades de producción producen sus propios alevines, mientras que 42.5% realiza la compra de estos a laboratorios locales, estatales e incluso nacionales.

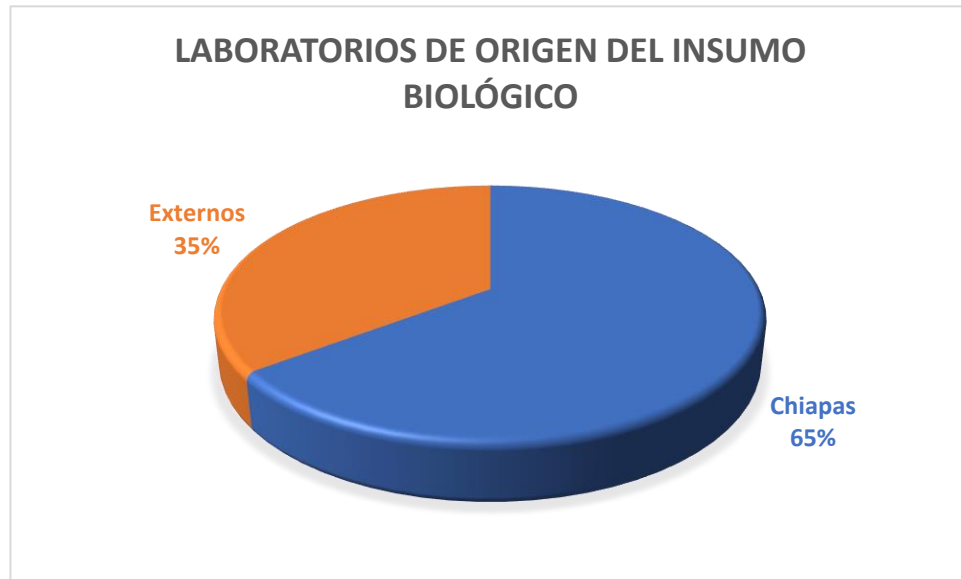


Figura 13. Origen del insumo biológico

Para el caso de los alevines que son adquiridos en otras unidades de producción, provienen de diferentes laboratorios tanto dentro como fuera del estado de Chiapas, se identificaron en las encuestas un total de 11 laboratorios proveedores de insumo biológico que tienen su centro de producción en el estado de Chiapas y seis más que provienen de los estados de: Tabasco, Veracruz, Jalisco, Sinaloa, Campeche y Yucatán, estos datos difieren a lo expuesto por CONAPESCA (2015), en donde se hace mención que el insumo biológico para la engorda en la presa malpaso proviene solamente de Chiapas y el estado Vecino de Tabasco, haciendo énfasis en el desabasto de este, situación que actualmente no ocurre. 72.72% (8 laboratorios) de los proveedores de alevines de tilapia no cuentan con certificado sanitario y el resto (27.28%) cuentan con este certificado o se encuentra en proceso de trámite. Además, 97.5% de los organismos entregados no vienen acompañados por una copia del certificado sanitario o resultado de diagnósticos sanitarios realizados a los alevines.

El 62.5% de los alevines empleados para la engorda de tilapia son revertidos sexualmente y 37.5% son mixtos, es decir se emplean de igual manera machos y hembras para el cultivo.

Economía y comercialización

El 95% del producto que se genera son peces para consumo humano en los diferentes mercados locales y nacionales. Por otro lado, 5% en la producción de alevines son utilizados para engorda en otras unidades de producción. Los peces para consumo humano, 100% del producto es entregado en canal y eviscerado, no se venden con vísceras, tampoco filetes ni organismos vivos. En cuanto al mecanismo de venta de los peces 100% se vende a pie de granja es decir el comprador llega hasta la granja para llevarse el producto. En el caso del destino final de la producción 55% de las granjas se distribuye localmente y a municipios vecinos del estado de Chiapas, siendo su principal destino el mercado del norte en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez; 45% es destinado a estados vecinos, principalmente Veracruz, Tabasco y la Ciudad de México.

En cuanto a la talla de comercialización del producto, 87.5% de los productores cosechan a una talla de 400 a 600 gramos de peso de las tilapias y un 22.5% cosecha a tallas de 700 a 800 gramos de peso.

4.2 Etapa 2. Calidad del agua

Para las variables calidad del agua, temperatura, oxígeno, pH, alcalinidad, dureza, concentración de amonio, concentración de nitritos y turbidez obtenidas durante los años 2020 y 2021, se realizaron correlaciones para observar la interacción entre variables, posteriormente se realizó un análisis de regresión múltiple para predecir la concentración del oxígeno (Cuadro 4).

Analizando la correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua, se encontró que la temperatura está altamente correlacionada con el pH con una correlación positiva de 0.65 y una probabilidad de 0.02. Así mismo se encontró que la temperatura también esta correlacionada con la turbidez pero en una forma negativa de -0.71, a medida de que sube la temperatura del agua, la turbidez disminuye y es un agua turbia, esto posiblemente se deba a que en los meses de mayor temperatura es cuando se presentan las lluvias, aporte de sólidos disueltos y materia orgánica que genera

turbidez en el agua, caso contrario durante los meses de menor temperatura en donde existe un aporte menor de sedimentos y se observa el agua con mayor turbidez, es decir más clara.

Cuadro 5. Análisis de correlación de las variables de Calidad del Agua

	TEMP	OXI	PH	ALCA	DUREZA	AMONIO	NITRI	TURBI
TEMP	1.00000	0.38494	0.65509	-0.23318	-0.03669	0.439	0.5534	-0.71752
		0.2166	0.0208	0.4658	0.9099	0.1534	0.062	0.0086
OXI	0.38494	1.00000	0.15727	-0.53330	-0.43469	-0.11268	0.44691	0.07257
	0.2166		0.6255	0.0742	0.1579	0.7273	0.1452	0.8227
PH	0.65509	0.15727	1.00000	-0.15470	0.05014	0.37746	0.65217	-0.33831
	0.0208	0.6255		0.6312	0.877	0.2264	0.0215	0.2821
ALCA	-	-	-	1.00000	0.90772	0.06645	-	-
	0.23318	0.53330	0.15470		<.0001	0.8374	0.21976	0.16392
	0.4658	0.0742	0.6312				0.4925	0.6107
DUREZA	-	-	-	0.90772	1.00000	0.04609	0.01135	-0.08575
	0.03669	0.43469	0.05014			0.8869	0.9721	0.791
	0.9099	0.1579	0.877	<.0001				
AMONIO	0.439	-	-	0.06645	0.04609	1.00000	0.05984	-0.17934
	0.1534	0.11268	0.37746				0.8534	0.5771
		0.7273	0.2264	0.8374	0.8869			
NITRI	0.5534	0.44691	0.65217	-0.21976	0.01135	0.05984	1.00000	-0.31073
	0.062	0.1452	0.0215	0.4925	0.9721	0.8534		0.3256
TURBI	-	-	-	0.16392	-0.08575	-0.17934	-	1.00000
	0.71752	0.07257	0.33831				0.31073	
	0.0086	0.8227	0.2821	0.6107	0.791	0.5771	0.3256	

TEMP: Temperatura, OXI: Oxígeno disuelto, pH: potencial de hidrógeno, ALCA: Alcalinidad, NITRI: Nitritos, TURBI: Turbidez

Arboleda 2016, menciona que la turbidez es generada por los sólidos en suspensión así como del fitoplancton en el agua, estos influyen decisivamente en la temperatura del cuerpo de agua debido a que el 90% de la luz total por radiación solar es absorbida o reflejada durante el primer metro de la columna de agua, lo que puede influir sobre la disponibilidad de oxígeno disuelto y temperatura en el agua, en este sentido coincide con Mess (2018), quien alude que la presencia de turbidez al reducir la intensidad de

los rayos luminosos que penetran al agua influyen decisivamente en las características del ecosistema presente.

Por otro lado, se encontró también una correlación entre la variable oxígeno y la alcalinidad de manera negativa con -0.53, por lo que a medida en que disminuye el oxígeno disuelto en el agua aumenta, la alcalinidad va disminuyendo, esto concuerda con Mess (2018), quien menciona que cuando la temperatura del agua aumenta, la disponibilidad de oxígeno y de alcalinidad disminuyen, esta última (alcalinidad) disminuye ante la precipitación del carbonato al aumentarse las temperaturas. Sin embargo, la alcalinidad también esté relacionada con la dureza, por lo que la concentración de compuestos carbonatados en el agua afecta la alcalinidad y este último por consecuencia afecta la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua, en este sentido Arboleda (2016) menciona que la dureza y la alcalinidad están estrechamente relacionadas por estar ambas asociadas a los carbonatos, por lo que al aumentar los valores de alcalinidad también aumentarán los de dureza.

De la misma manera el pH, influye sobre la concentración de nitritos en una forma positiva a medida de que el pH aumenta la concentración de nitritos también se incrementa, esto es explicado por Arboleda (2016) y Mess (2018), quienes mencionan que el aumento o disminución del pH se debe a la oxidación de materia orgánica como restos de alimentos, organismos muertos y otras fuentes orgánicas, participando activamente los compuestos nitrogenados como los nitritos en el incremento o disminución del pH. (Cuadro 5)

Cuadro 6. Ecuación de predicción de las variables Calidad de Agua

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F-Valor	Pr > F
Término i	11.23307	8.28118	0.28798	1.84	0.2465
TEMPendie	0.46966	0.13312	1.94817	12.45	0.0243
PHe	-2.38411	1.15744	0.66406	4.24	0.1085
ALCA	-0.03155	0.01636	0.58241	3.72	0.1260
DUREZA	0.01912	0.01397	0.293	1.87	0.2431
AMONIO	-2.93573	2.72047	0.18226	1.16	0.3413
NITRI	8.20079	11.45715	0.08019	0.51	0.5137
TURBI	0.01284	0.00364	1.94869	12.45	0.0243

R2=0.8787

TEMP: Temperatura, **PH:** potencial de hidrógeno, **ALCA:** Alcalinidad, **NITRI:** Nitritos, **TURBI:** Turbidez

Con base a los análisis de correlación se realizó una ecuación de predicción para determinar y poder predecir en el caso de la temperatura con base a otras variables de calidad del agua. Se encontró que la variable que más influye sobre la temperatura del agua es la turbidez y el pH con una probabilidad de 0.1, por lo que con estas dos variables podemos predecir exactamente con el nivel de pH y la medición de la turbidez se puede conocer la temperatura del agua o viceversa, es decir con la temperatura del agua podemos determinar la medición de pH y turbidez se cuenta en un determinado momento.

Componentes principales

Cuadro 7. Componentes principales de las variables calidad de agua

Componente	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	3.06747821	0.91381289	0.3834	0.3834
2	2.15366531	1.10680893	0.2692	0.6526
3	1.04685638	0.19016546	0.1309	0.7835
4	0.85669091	0.31971562	0.1071	0.8906
5	0.53697530	0.28857108	0.0671	0.9577
6	0.24840421	0.17263690	0.0311	0.9888
7	0.07576731	0.06160493	0.0095	0.9982
8	0.01416237		0.0018	1.0000

VARIABLE	COMPONENTE 1	COMPONENTE 2	COMPONENTE 3
TEMP	0.503850	0.205391	-0.097805
OXI	0.316355	-0.367792	0.374861
PH	0.427232	0.242244	0.112316
ALCA	-0.316345	0.516586	0.234547
DUREZA	-0.183530	0.580829	0.345970
AMONIO	0.194622	0.291142	-0.576460
NITRI	0.426173	0.085421	0.512993
TURBI -	0.332068	-0.259957	0.259083

En lo que respecta al análisis de componentes principales, se encontraron tres componentes que influyen sobre la calidad del agua principalmente; en el primer componente se encontró a la temperatura, el pH y la turbidez; en el segundo componente se encuentra representando por la alcalinidad y la dureza y el tercer componente está conformado por el oxígeno disuelto, el amonio y la concentración de nitritos, estos tres componentes son los que influyen directamente sobre la calidad del agua. Los tres componentes tienen la explicación del 0.78 % de la variabilidad de la calidad del agua con los parámetros evaluados.

Realizando el dendrograma con base a los componentes principales, con un valor de 0.8 se encontró que los meses del año se dividen en tres grupos en cuanto a la calidad del agua, es decir se presentan tres grupos de calidad del agua con respecto a todos los componentes que se evaluaron (temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, etc). En el grupo número uno se muestra a los meses de: mayo, junio, julio agosto y septiembre, en el grupo número dos de acuerdo a la calidad del agua se presentan los meses de febrero, marzo y abril y en el grupo número tres, octubre, noviembre, diciembre y enero. Con base a lo anterior se forman tres grupos del comportamiento de la calidad del agua y que están correlacionados en base a su calidad para la producción de peces.

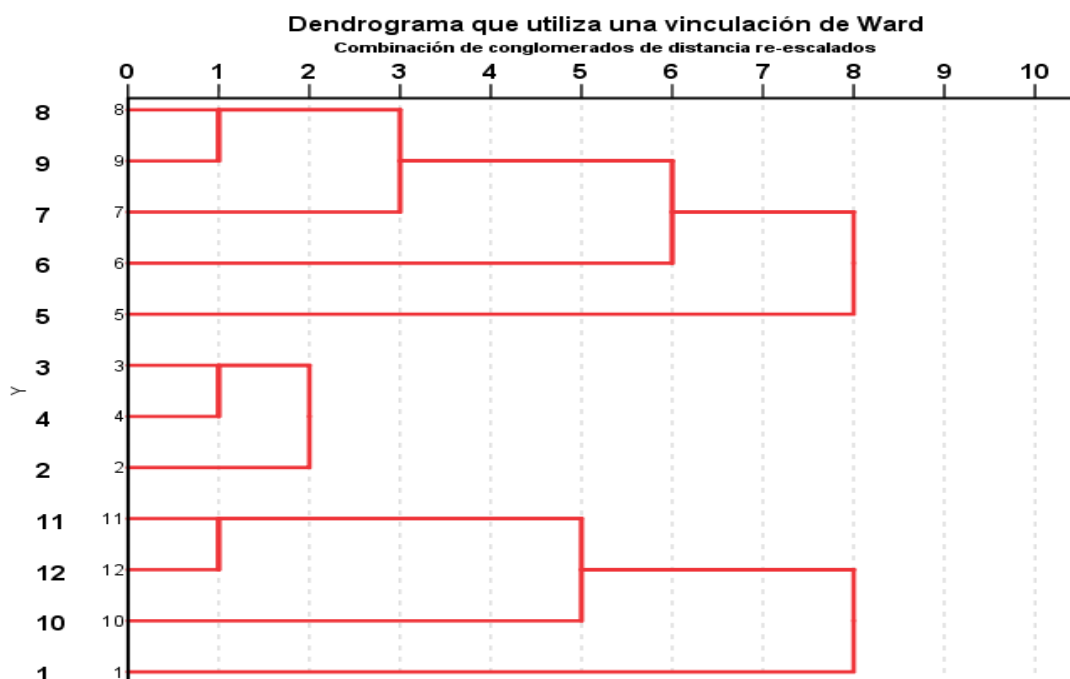


Figura 14. Dendrograma realizado con base al análisis de los componentes principales

- Los números del eje de las Y, representan los meses del año. 1. Enero.....12. diciembre

Cuadro 8. Valores promedio de los cluster de las variables de la cantidad del agua

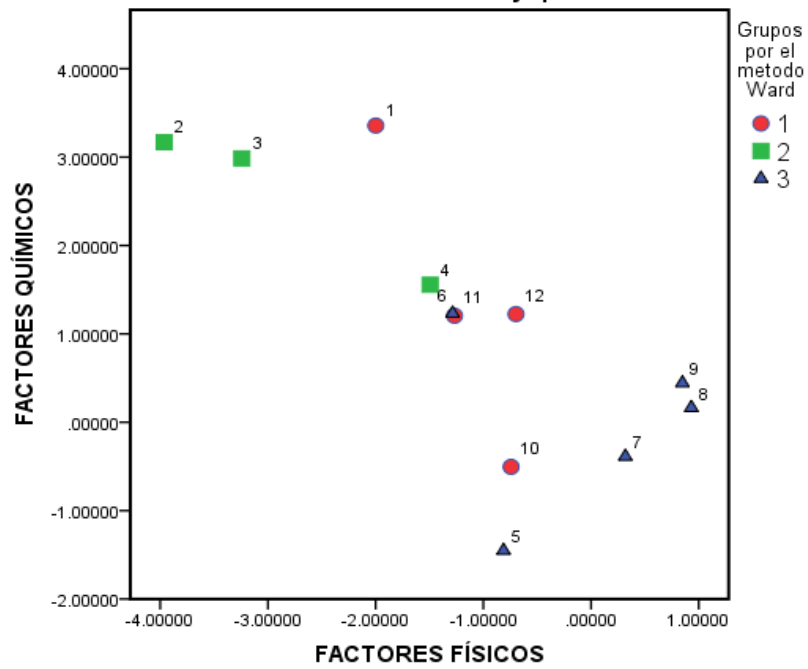
CLUSTER		TEMP	OXI	PH	ALCA	DUREZA	AMONIO	NITRI	TURBI
MAYO JUNIO	Media	27.37	5.74	7.68	154.17	177.64	0.0531	0.0015	132.85
JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE	EE	0.683	0.216	0.088	10.739	9.691	0.0148	0.0009	41.405
FEBRERO MARZO	Media	26.92	6.91	7.57	106.67	116.67	0.0100	0.0000	165.95
ABRIL	EE	0.654	0.050	0.071	13.333	8.819	0.0100	0.0000	12.24
OCTUBRE NOVIEMBRE	Media	30.45	7.04	7.83	121.621	150.233	.08373	.02056	91.94
DICIEMBRE ENERO	EE	0.112	0.133	0.056	5.785	9.486	0.032	0.009	16.417
Total	Media	28.54	6.57	7.71	128.73	150.98	.0551	.0091	124.081
	EE	0.551	0.198	0.048	7.498	8.603	0.016	0.005	16.876

La medida de adecuación de Kaiser-Meyer-Olkin arrojó un valor de correlación de 0.305, con una $P= 0.03$, lo que indica que a pesar de existir una correlación baja esta resultó significativa. El análisis de reducción de factores agrupó las variables en factores físicos (alcalinidad, dureza, pH y turbidez, y por otro lado las variables químicas (temperatura, oxígeno, concentración de amonio y concentración de nitritos) (cuadro 8). Con los dos componentes formados se elaboró una gráfica para describir la dispersión de los meses de acuerdo a la calidad de agua (figura 15).

Cuadro 9. Matriz de componentes principales de la reducción de variables

Variable	Componente	
	1	2
ALCA	-.929	-.122
DUREZA	-.851	.332
PH	.687	.039
TURBI	.651	.087
OXI	-.002	.827
NITRI	.384	.793
AMONIO	.409	-.458
TEMP	-.087	.342

Comportamiento de la calidad del agua durante los meses del año con base a los factores físicos y químicos



- Los números que forman los grupos representan los meses del año. 1. Enero.....12. diciembre

V. CONCLUSIONES

La actividad acuícola en el estado de Chiapas está en un crecimiento exponencial, siendo su mayor referente la presa Malpaso, en donde se produce el 70% de la tilapia a nivel estatal bajo el sistema de producción en jaulas flotantes.

La producción acuícola en la presa Malpaso ha ido creciendo sin el acompañamiento de expertos en el tema acuícola, por lo que existen muchas áreas de mejoras en temas como: sanidad, manejo zootécnico y medidas de bioseguridad para evitar la entrada de agentes patógenos, siendo esta última un riesgo latente al introducirse organismos al agua sin conocer su estado de salud o si se realizan buenas prácticas sanitarias en los laboratorios productores de alevines de tilapia.

Los factores que mayormente influyen en la presencia de mortalidad en los peces son el manejo en general de los organismos, la falta de medidas de bioseguridad y las variaciones de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el año, aunado a lo anterior se observó que muchos productores se iniciaron en la actividad sin previo conocimiento de la producción de la especie y de las condiciones ambientales que prevalecen en la zona en la que se ubicaron.

La mayoría de las granjas no cuentan con un equipo básico de medición de calidad del agua por lo que ponen en riesgo la totalidad de la producción ante la presencia de cambios en los parámetros fisicoquímicos del agua, sin que se percaten de la presencia de un problema hasta que se presenta la mortalidad masiva en los organismos.

Una problemática importante observada en la caracterización de las unidades de producción acuícolas es el empleo de fármacos ya que no tienen un seguimiento técnico del empleo de estas sustancias ni emplean el adecuado tiempo de retiro, por lo que se pueden estar generando resistencias a los antibióticos en los organismos no solo de cultivo sino también en los silvestres, por lo que será muy importante en trabajos futuros realizar estudios de residuos de antibióticos en producto final, peces silvestres y agua de cultivo en la presa Malpaso.

Se sugiere continuar con estudios a mayor profundidad sobre calidad del agua en la presa Malpaso, tomando en cuenta corrientes y profundidades, que muchas veces no

son considerados por los productores en el momento de instalar una granja en sistemas de producción de jaulas flotantes.

La capacitación a los productores acuícolas y sobre todo a los que inician en la actividad será el pilar para mejorar significativamente los conocimientos de los productores en las buenas prácticas de manejo, sanidad, empleo y manejo responsable de fármacos, aditivos y medidas de bioseguridad en las granjas, con ello se disminuirá de manera significativa la presencia de mortalidad en organismos que se verán reflejados en el aumento de la producción.

VI. LITERATURA CITADA

- Arboleda D. 2006. Limnología aplicada a la acuicultura. Revista Electrónica de Veterinaria. 7(11):1-24.
- Anzueto M. 2008. Diversidad ictiofaunística y su relación con las variables ambientales en la reserva de la biosfera el ocote, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 47 p.
- Betancourt C., Y. Labaut. 2013. La calidad fisicoquímica del agua en embalses, principales variables a considerar. Revista Agroecosistemas. 1(1):78-103.
- Comité Sistema Producto Tilapia De México A.C. 2012. Criterios Técnicos y Económicos para la Producción Sustentable de Tilapia en México. Pp. 184. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/bibliografia-pesquera-y-acuicola>
- CONAPESCA. 2015. Plan de ordenamiento y capacidad de carga de la presa Netzahualcóyotl (Malpaso) primera etapa. https://soap.conapesca.gob.mx/ordenamiento/documentos/proyectos_ordenamiento/expediente/14/13.pdf Consultada el 22 de noviembre de 2019.
- Conroy G., D. Conroy. 2008. Importantes enfermedades infecciosas y parasitarias de tilapias cultivadas. Intervet, Shering-Plough Animal Health. EUA. 171 p.
- Fájer-Ávila E., R. Medina-Guerrero, N. Morales-Serna. 2017. Estrategias para la prevención y control de las enfermedades parasitarias de la tilapia. Revista Acta Agrícola y Pecuaria. 3(2): 25-31.
- Food and Agriculture Organization. 2018. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. <http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture/es/> Consultada el 10 de noviembre de 2019.
- Food and Agriculture Organization. 2020. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. <http://www.fao.org/3/ca9229es/ca9229es.pdf> Consultada el 08 de marzo de 2021.
- García G. 2018. Evaluación de las características fisicoquímicas del agua en la piscícola de Asojuncal-Huila, asociados al ciclo de producción de la tilapia roja. Tesis de Licenciatura. UNAD. Neiva, Huila, Colombia. 97 p.

- García J. 2007. Biología alimentaria y reproductiva del pejelagarto *Atractosteus tropicus* Gill 1863, en la reserva de la biosfera la encrucijada, Chiapas. Tesis de Licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 55 p.
- Gobierno del Estado de Sinaloa. 2016. Plan maestro de tilapia en el estado de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa. 200 p.
- Gold-Bouchot G., O. Zapata Pérez, G. Rodríguez-Fuentes, V. Ceja-Moreno, M. Río-García, E. Chan-Cocom. 2006. Biomarkers and pollutants in the Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in four lakes from San Miguel, Chiapas, México. International Journal of Environment and Pollution. 26 (1): 129-141.
- González J. 2012. Parasitofauna en Tilapia causante de mortalidad en alevinos en dos centros de cultivo, Lima, Perú. Revista Neotropical helminthology. 6(2): 219-229. Lima Perú.
- Ingle de la Mora G., E. Villareal-Delgado, J. Arredondo-Figueroa, J. Ponce-Palafox, I. Barriga-Sosa. 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. Revista Hidrobiológica. 13 (4): 247-253.
- Lara-Flores M., Balán-Zetina S., Zapata A., Sonda-Santos K. 2013. Determinación y prevalencia de *Mycobacterium* spp., en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) cultivada en Campeche, México. Rev. MVZ Córdoba 18(1): 3273-3281.
- Mancilla J. 2015. Estudio de la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) como reservorio de *Aeromonas* potencialmente patógenas, en los canales de Xochimilco, D.F. México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 59 p.
- Martínez C. 2009. Riqueza ictiofaunística y actividad pesquera en el municipio de la concordia, presa la angostura, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 66 p.
- Mees A. 2018. Calidad del Agua en Embalses. Acervo Educativo sobre el agua. Agencia Nacional de Agua. https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2204/2/Unidade_2.pdf consultado 12 de noviembre 2021.

- Morales-Covarrubias, M.S. 2010. Enfermedades del camarón: detección mediante análisis en fresco e histopatología. 2ª. Edición. Editorial Trillas. CIAD, Mazatlán, Sinaloa. 180 p.
- Nicovita. 2017. Manual de crianza tilapia. Revista Industria Acuicola. <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf> Consultado 08 de noviembre de 2019.
- Ovando E. 2007. Biología alimentaria de *Profundulus hildebradi* Miller, 1950, (Ciprinodontiforme: profundilidae) pez endémico de Chiapas. Tesis de Licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 37 p.
- Ovilla J. 2009. Diversidad Alfa y Beta, y su influencia sobre la riqueza ictiofaunística del sistema lagunar Chantuto-Panzacola; Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 35 pp.
- Poot-López G., E. Gasca-Leyva, M. 2012. Olvera-Novoa. Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidioscolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. Latin American Journal of Aquatic Research. 40(4): 835-846. Mérida, Yucatán.
- Pulido E.A. 2019. Principales causas de mortalidad en cultivos intensivos y superintensivos de tilapia en Colombia. Revista electrónica de Ingeniería en Producción Acuicola. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fWtYF9yyLnsJ:revista.sudenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1506/1845+&cd=10&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx> Consultada el 10 de noviembre de 2019.
- Rey A., C. Irregui, N. Verján. 2002. Diagnóstico clínico patológico de brotes de enfermedad en tilapia roja (*Oreochromis* spp). Rev Med Vet Zoot. 49: 13-21.
- Rivera-Velázquez G, Velázquez L., Peralta M., Márquez R., Velázquez-Velázquez E. 2014. Peces nativos contra introducidos en una pesquería tropical desde su composición nutricional. Revista Iberomericana de Ciencias. 1(2):61-72.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Estudio para la determinación de esquemas de mejora para rendimiento en las granjas de producción acuícola de tilapia. Ciudad de México. 65 p.

- Scheaffer R., W. Mendenhall, Ott Lyman. 1987. Elementos de muestreo. 3ª. edición. Grupo Editorial Iberoamericana, S.A. de C.V., Belmont, California, USA. 332 p.
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2008. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia. Ciudad de México. 158 p.
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2017. Sanidad Acuícola en Aguas Interiores: Tilapia, Trucha Bagre y Carpa. Ciudad de México. 105 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. Producción Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pesquera>
Consultada el 10 de noviembre de 2019.
- Soto S. 2009. Investigación en presas de Sinaloa, Calidad del agua y bacterias presentes en tilapia cultivada. Fundación PRODUCE-SAGARPA. 29 p.
- Steel, Robert G.; Torrie, James H; Dickey, David A. 1996. Principios y procedimientos de estadística: un enfoque biométrico. Mc Graw-Hill. 3 Sub edición. 672 pp.
- Vázquez-Ramírez F., Hernández-López J., Ruíz-Sesma B., Tejeda-Cruz C., Ibarra-Martínez C., Olivia-Llaven M., Bautista Trujillo G., Santiago-Melgar F., Zaragoza-Martínez M., Cigarroa-Vázquez F., Pérez-Luna E., Mendoza-Nazar P. 2019. Caracterización de la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en las Unidades de Producción Acuícola de Chiapas. Revista Ciencia e Innovación 2(1): 291-309.
- Villatoro V. 2006. Riqueza ictiofaunística del sistema lagunar Carretas-Pereyra, Chiapas, México y aspectos tróficos de cinco especies de peces. Tesis de Licenciatura. UNICACH. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 72 p.