



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V

**Ordenamiento espacial para la acuacultura sustentable de tilapia
(*Oreochromis spp*), en la presa Nezahualcóyotl (Malpaso, Chiapas)**

TESIS

que para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD

Presenta

FRANCISCO VÁZQUEZ RAMÍREZ F09083

Directora de tesis

Dra. Lourdes Zaragoza Martínez

Codirector de tesis

Dr. Francisco Javier Martínez Cordero

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

junio de 2024

Villaflores, Chiapas
07 de junio de 2024
Oficio N° D/0495/24

C. M.C. FRANCISCO VÁZQUEZ RAMÍREZ
DOCTORANTE EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD
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: “**Ordenamiento espacial para la acuacultura sustentable de tilapia (*Oreochromis spp*), en la presa Nezahualcóyotl (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
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

M. C. CARLOS ALBERTO VELAZQUEZ SANABRIA
DIRECTOR

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRONÓMICAS



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) Francisco Vázquez Ramírez, Autor (a) de la tesis bajo el título de "Ordenamiento espacial para acuacultura sustentable de tilapia (*Oreochromis spp*), en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso, Chiapas), presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, 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 25 días del mes de junio del año 2024.

Francisco Vázquez Ramírez

AGRADECIMIENTOS

Mediante el presente externo mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), quien para este trabajo de investigación participó como fuente financiadora.

A la Universidad Autónoma de Chiapas, que a través del programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad (DOCAS), me dio la oportunidad para desarrollar y finalizar satisfactoriamente este proyecto, cumpliendo con los objetivos establecidos, gracias a la plantilla de catedráticos del programa, a todos gracias.

Al Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas, A.C. (CESACH, A.C.), por brindarme el apoyo y las facilidades para el desarrollo del proyecto de investigación, gracias principalmente a los productores del gremio que aportaron de forma invaluable compartiendo información y muchas veces los alimentos en sus unidades de producción, gracias a todo el personal técnico por su gran apoyo y amistad.

Agradezco plenamente a mi directora de tesis, la Dra. Lourdes Zaragoza Martínez, por su dedicación y mucha paciencia, aprendí que con pocas palabras transmite todo, gracias por el tiempo.

A mi codirector el Dr. Francisco Javier Martínez Cordero, le agradezco su apoyo, con su experiencia y conocimiento permitió el enriquecimiento de este trabajo.

A mis asesoras la Dra. Guadalupe Rodríguez Galván y la Dra. Mariela Beatriz Reyes Sosa, por su paciencia, constancia, consejos y por las aportaciones profesionales para la elaboración de este proyecto, gracias por su tiempo.

Agradezco plenamente a mi familia por la paciencia y el apoyo que me dieron a lo largo de este proceso profesional, quienes siempre estuvieron a mi lado, brindándome las mejores palabras de aliento para poder continuar y concluir el posgrado.

Gracias por siempre creer en mí.

DEDICATORIA

“Si he visto más, es poniéndome sobre los hombros de gigantes”¹

A mis padres: Lulú † y Julio

Por estas personas que Dios escogió para ser mi guía, gracias por las lecciones de humildad, nunca olvidare quienes somos.

A mi esposa Lupita

Gracias por todo el apoyo, pero en especial por la tolerancia y comprensión.

A mis hijos y esposa: Francisco y Elizabeth

Gracias por la comprensión, sobre todo en esos tiempos que fueron complicados, espero sirva de motivación y ejemplo para alcanzar siempre sus metas.

¹ Isaac Newton



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD

LGAC DE INSCRIPCIÓN DE LA TESIS

Esta tesis titulada '**Ordenamiento espacial para la acuacultura sustentable de tilapia (*Oreochromis spp*) en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso, Chiapas)**', se registró ante la Coordinación de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Agronómicas C-V, de la Universidad Autónoma de Chiapas, en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) **Tecnología e innovación para el desarrollo rural sustentable**, del Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Panorama de la pesca y la acuacultura.....	5
2.1.1 La acuacultura a nivel mundial y en México.....	7
2.1.2 Empleo en la acuacultura mexicana.....	10
2.1.3 Producción pesquera mexicana.....	11
2.1.4 Aportación de la mojarra en la producción acuícola nacional.....	13
2.1.5 Perspectivas de la industria del cultivo de tilapia en México.....	14
2.1.6 Ordenamiento acuícola y pesquero.....	18
2.2 Acuacultura en Chiapas.....	20
2.2.1 Sistema de producción en jaulas flotantes.....	21
2.2.2 Riqueza hídrica en Chiapas.....	22
2.2.3 Producción pesquera en Chiapas.....	25
2.2.4 Dinámica económica de la acuacultura y la pesca en Chiapas.....	26
2.3 El desarrollo sustentable.....	28
2.3.1 Indicadores de Sustentabilidad.....	29
2.3.2 El concepto de sustentabilidad en el tiempo.....	30
2.3.3 La transversalidad de la sustentabilidad.....	31
2.4 La acuacultura sustentable.....	32
2.4.1 Sustentabilidad acuícola.....	36

2.4.1.1 Herramientas para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos	37
2.4.2 Enfoque sustentable del cultivo de tilapia.....	38
2.4.3 Calidad del agua para acuacultura	39
2.5 Organización social para la acuacultura.....	45
2.5.1 Invisibilización del trabajo femenino rural	47
2.5.2 Participación de mujeres y jóvenes en la acuacultura	50
III. MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1 Área de estudio	52
3.2 Metodología	53
3.2.1 Tipología del sistema de producción	53
3.2.2 Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del agua.....	55
Determinación de calidad de agua	55
3.2.3 Elaborar un modelo matemático de predicción	56
Modelo predictivo para la producción de tilapia.....	56
3.2.4 Propuesta de ordenamiento espacial.....	57
Determinación de áreas potenciales	57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1 Caracterización y manejo del sistema de producción acuícola.....	59
4.1.1 Tiempo de inicio de las operaciones productivas	61
4.1.2 Participación por género en la actividad acuícola.....	63
4.1.3 Infraestructura.....	64
4.1.4 Demanda de crías	66
4.1.5 Elementos relevantes del manejo.....	67
4.1.6 Riesgos sanitarios	68

4.1.7 Comercialización	70
4.1.8 Caracterización por zonas de la presa Malpaso.....	71
4.2 Caracterización fisicoquímica del agua en la presa Malpaso.....	74
4.2.1 Calidad fisicoquímica del agua	74
4.2.2 Batimetría	88
4.3 Modelo de predicción de densidad para una producción sustentable.....	92
4.4 Ordenamiento para la acuacultura sustentable en Malpaso, Chiapas	98
V. CONCLUSIONES	102
VI. BIBLIOGRAFÍA	105
VII. ANEXOS	123
Anexo 1	123
Anexo 2	125
Anexo 3.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Producción nacional de tilapia</i>	13
Tabla 2. <i>Niveles de oxígeno disuelto mínimo requerido para el cultivo</i>	40
Tabla 3. <i>Categorización de Unidades de Producción</i>	60
Tabla 4. <i>Infraestructura de jaulas flotantes en la presa Malpaso</i>	65
Tabla 5. <i>Datos productivos del cultivo de tilapia en la Presa Malpaso.</i>	68
Tabla 6. <i>Destino del producto</i>	70
Tabla 7. <i>Criterios generales según el índice de calidad del agua para uso en pesca y vida acuática</i>	93
Tabla 8. <i>Criterios generales ICA aplicadas en la presa Nezahualcóyotl</i>	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio - Presa Malpaso.....	52
Figura 2. Diagrama para obtención de áreas potenciales	59
Figura 3. Presa Malpaso, división de zonas de estudio.....	60
Figura 4. Tendencia histórica de inicio de operaciones.....	62
Figura 5. Participación de hombres y mujeres en la pesca	63
Figura 6. Participación de la mujer en la acuicultura	64
Figura 7. Principales riesgos en la actividad Acuícola en la presa Nezahualcóyotl.....	69
Figura 8. Zona La Venta.....	72
Figura 9. Zona Puente Chiapas – Láminas Cuatro.....	73
Figura 10. Zona Apic-Pac.....	74
Figura 11. Comportamiento de la temperatura en la presa malpaso.....	76
Figura 12. Comportamiento de oxígeno en la presa malpaso	79
Figura 13. Comportamiento de pH en la presa malpaso	80
Figura 14. Comportamiento de la Alcalinidad en la presa malpaso.....	81
Figura 15. Comportamiento de Dureza en la presa malpaso.....	82
Figura 16. Comportamiento de Turbidez en la presa malpaso	83
Figura 17. Comportamiento de Amonio en la presa malpaso.....	85
Figura 18. Comportamiento de Amonio en la presa malpaso.....	87
Figura 19. Comportamiento de Nitritos en la presa malpaso.....	88
Figura 20. Problemas asociados a la batimetría.....	90
Figura 21. Registro batimétrico en la presa malpaso.....	90
Figura 22. Registro batimétrico promedio en la presa malpaso.....	91

Figura 23. *Mapa de la capacidad de carga en la presa Nezahualcóyotl (Malpaso).....94*

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como finalidad analizar y proponer el ordenamiento de la actividad acuícola como estrategia orientada para alcanzar la sustentabilidad ambiental, social y económica en el estado productor más importante del país. En este sentido, el objetivo general es fomentar en las unidades de producción acuícola el aprovechamiento sustentable de los recursos, a través de un ordenamiento espacial de las unidades dedicadas a la producción de tilapia. Se analizaron 43 Unidades de Producción Acuícola, con quienes se aplicó una encuesta que permitió caracterizar a cada una de estas unidades. Se determinó la calidad del agua a través del monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y batimetría para determinar las áreas potenciales de producción conforme a las diferentes condiciones identificadas y se formuló el índice estimado para calcular la densidad de siembra de organismos idónea en las diferentes áreas. Se identificaron tres zonas con el mayor potencial productivo en el embalse, basado en los factores de calidad del agua. Para las UPA se identifican problemas significativos derivados de la falta de regulación institucional y de permisos para el desarrollo de la actividad, por el desconocimiento y la falta de implementación de un programa integral encaminado a las buenas prácticas acuícolas, se identificaron zonas donde las condiciones del agua no son las apropiadas para la actividad, a consecuencia de la mala disposición de los residuos de la actividad acuícola como vísceras y mortalidad, propiciando condiciones de contaminación del agua, afectando los parámetros fisicoquímicos y contribuyendo a la proliferación de agentes patógenos oportunistas. Por otro lado, las posibles soluciones a través del ordenamiento de la actividad pueden elevar su potencial productivo. Se concluye que, una vez identificada la problemática para el desarrollo sustentable de la acuicultura, se debe considerar la participación de todos los involucrados; acuacultores, organizaciones, comerciantes, los tres órdenes de gobierno, la academia y otros sectores relacionados, considerando capacitación y la asistencia técnica para la fase de ejecución bajo el principio de producir sin aumentar el uso y abuso significativo de los recursos naturales.

PALABRAS CLAVE

Acuicultura, embalse, Malpaso, tilapia.

ABSTRACT

The purpose of this work is to analyze and propose the organization of aquaculture activity as a strategy aimed at achieving environmental, social and economic sustainability in the most important producing state in the country. In this sense, the general objective is to promote the sustainable use of resources in aquaculture production units, through a spatial organization of the units dedicated to the production of tilapia. 43 Aquaculture Production Units were analyzed, with which a survey was applied that allowed each of these units to be characterized. The quality of the water was determined by monitoring the physicochemical parameters and bathymetry to determine the potential production areas according to the different conditions identified and the estimated index was formulated to calculate the ideal planting density of organisms in the different areas. Three areas with the highest productive potential in the reservoir were identified, based on water quality factors. For the UPA, significant problems are identified derived from the lack of institutional regulation and permits for the development of the activity, due to the lack of knowledge and the lack of implementation of a comprehensive program aimed at good aquaculture practices, areas were identified where the conditions of the water are not appropriate for the activity, as a result of the poor disposal of waste from aquaculture activity such as viscera and mortality, leading to conditions of water contamination, affecting physicochemical parameters and contributing to the proliferation of opportunistic pathogens. On the other hand, possible solutions through the organization of the activity can increase its productive potential. It is concluded that, once the problem for the sustainable development of aquaculture has been identified, the participation of all those involved must be considered; aquaculturists, organizations, merchants, the three levels of government, academia and other related sectors, considering training and technical assistance for the execution phase under the principle of producing without increasing the significant use and abuse of natural resources.

KEYS WORD

Aquaculture, reservoir, Malpaso, tilapia.

I. INTRODUCCIÓN

En algunos países el consumo de productos pesqueros forma parte de su cultura y tradición, además se constituye como su principal fuente de micronutrientes; en este sentido la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que antes de 2030 más del 65% de los alimentos acuáticos procederán de la acuicultura, principalmente a partir del cultivo de especies como la tilapia, carpa y bagre; por ello, se prevé que la producción mundial de tilapia se duplique de 4.3 millones de toneladas a 7.3 millones anuales entre 2010 y 2030 (FAO, 2019). Esta misma organización, en el año 2020, presenta el informe sobre el Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura, informe conocido como SOFIA, donde se dio a conocer la situación y estado de la pesca y acuicultura en el mundo. Ahí se destaca el nivel de sobreexplotación y la necesidad urgente de llevar la regulación a donde es deficiente o inexistente, a fin de poder preservar los recursos marinos y garantizar la seguridad alimentaria (FAO, 2020).

Datos del año 2018, señalan que, a nivel mundial la producción de pesca de captura alcanzó 96.4 millones de toneladas, el nivel más alto registrado, que supone un incremento del 54% respecto a la media de los tres años anteriores; siendo los principales países productores de captura China, Indonesia, Perú, India, Rusia, Estados Unidos y Vietnam, acaparando casi 50% de las capturas totales a nivel mundial; esta desigualdad en la gestión de la pesca, evidencia la urgencia de replicar y readaptar políticas adecuadas y eficientes que garanticen en todo el mundo, la sostenibilidad de la pesca y la acuicultura; el incumplimiento de las medidas y regulaciones establecidas supone una amenaza a la seguridad alimentaria y los medios de vida, especialmente de aquellos países que tienen una gran dependencia de la pesca (FAO, 2020).

El Plan Nacional de Acuicultura Sustentable 2019-2024, tiene como objetivo combatir el rezago social de las comunidades costeras y ribereñas e impulsar la productividad y aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros de México, a través de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), se impulsa un programa encaminado a convertir al sector pesquero y acuícola en protagonista de la seguridad alimentaria que impulsa el gobierno federal; para ello, este plan se desarrolla desde tres

vertientes: 1) abastecimiento seguro y de calidad de crías, semillas y alevines; 2) disponibilidad de insumos de calidad y asequibles para la producción de engorda, y 3) canales establecidos de producción-consumo y comercialización para alcanzar la autosuficiencia alimentaria y reducir las importaciones de productos pesqueros (DOF, 2020).

La tilapia es la segunda especie de mayor producción acuícola a nivel mundial; en México existe una gran diversidad de especies que se cultivan en granjas acuícolas para consumo humano; actualmente, se cuenta con aproximadamente 9,230 granjas acuícolas en 115,910 hectáreas, cuya producción ha crecido en los últimos años, empleando directamente a 56,250 hombres y mujer. Por lo anterior, se ocupa el noveno lugar a nivel mundial como productor de Tilapia, lo que representa para México 94.3% de la pesquería nacional de la especie; las principales entidades productoras del país son Jalisco, Chiapas, Sinaloa, Nayarit, Michoacán, Veracruz, Tabasco, Guerrero, Hidalgo y México (DOF, 2020).

En Chiapas, la acuacultura cobra relevancia al estar posicionado a nivel nacional como una de las mejores entidades federativas para el óptimo desarrollo de la actividad, debido a las condiciones climáticas presentes en sus diferentes regiones, sin embargo, el nivel productivo se ha visto afectado y se desconocen las causas, situación que identifica y promueve la necesidad de realizar investigación sobre los procesos medio ambientales que influyen en la utilización de los recursos acuícolas.

Por lo anterior, es necesario generar instrumentos para las políticas públicas que permitan la administración y regulación de las actividades pesqueras y acuícolas, a través de un ordenamiento espacial que logre el aprovechamiento sustentable de los recursos. Por lo antes señalado y debido a la importancia de la acuacultura como fuente generadora de empleo, como alternativa para la seguridad alimentaria, al aporte de alimento de calidad proteica y al incremento del desarrollo tecnológico en la actividad, se ha considerado realizar el presente proyecto de investigación, que permitirá proponer un ordenamiento espacial de los sistemas de producción y sus recursos acuícolas, enfocada en el aprovechamiento sustentable sobre la producción de tilapia en la presa de la Central Hidroeléctrica Malpaso, Chiapas.

1.1 Planteamiento del problema

La sobreexplotación de importantes especies acuícolas, la modificación de sus ecosistemas, las grandes pérdidas económicas y conflictos sobre la gestión y el desabasto de pescado representan una amenaza a largo plazo para la sostenibilidad de la acuicultura y su contribución a la seguridad alimentaria; bajo esta consideración sigue siendo importante, reconocer que la recuperación de los ecosistemas afectados es urgente y así evitar el agotamiento de aquellos todavía saludables (FAO, 2020).

En Chiapas, a lo largo del cauce del Río Grijalva se han construido cuatro grandes presas hidroeléctricas: La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas, mismas que han modificado de manera importante el hábitat acuático al convertirlo de un ambiente lótico a uno léntico (Anzueto *et al.*, 2016).

En noviembre de 2016, en el embalse de la presa Peñitas, ocurrió un fenómeno de surgencia, derivado del movimiento ascendente de masas de aguas profundas a la superficie, generalmente no mayores a 200 metros, de tal forma que, las aguas superficiales se reemplazan por aguas más frías y con mayor riqueza de nutrientes que afloran desde las profundidades. Lo anterior provocó la mortalidad de más de 70 toneladas de mojarra tilapia. Desde 2018, esta presa ha disminuido de manera significativa el nivel de producción, aunado a que las unidades de producción cada vez presentan un mayor índice de problemas asociados a la producción acuícola en jaulas flotantes, lo que ha derivado en algunos casos que, los productores migren su labor a otros cuerpos de agua y en otros al abandono de la actividad (CESACH, 2020).

Como todas las prácticas agropecuarias, la acuicultura genera un impacto sobre el medio ambiente; ésta presenta algunas malas prácticas que carecen de ser sustentables durante el proceso de producción, entre las que destaca la interacción química con el medio acuático causada por la descarga de materia orgánica proveniente de las heces de los organismos en cultivo, por el alimento no ingerido y los posibles residuos de productos terapéuticos (Carreras, 2015). Lo anterior, hace suponer que el exceso de las malas prácticas y el crecimiento exponencial desordenado de la actividad, ha generado un deterioro al ecosistema acuático, razón por la cual se encuentra en una situación de amenaza para el desarrollo de la actividad, no solamente en este cuerpo de agua, sino

también en la presa Malpaso, que por las características de crecimiento en cuanto a unidades de producción y la falta de ordenamiento de la actividad sufre una potencial amenaza que podría reducir la producción a nivel estatal, ocasionando significativos riesgos a la economía del sector.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Fomentar en las unidades de producción, el aprovechamiento sustentable de los recursos acuícolas, a través del ordenamiento espacial de la producción de tilapia en la presa Malpaso, Chiapas.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar la estructura y tipología del sistema de producción acuícola dedicado al cultivo de tilapia en la presa Malpaso, Chiapas.
- b) Caracterizar las áreas de producción, mediante la evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua, en áreas de producción de tilapia en la presa Malpaso, Chiapas.
- c) Elaborar un índice para estimar la densidad de siembra de tilapia en diferentes condiciones climáticas, para una producción sustentable en la presa Malpaso, Chiapas.
- d) Elaborar una propuesta de ordenamiento espacial, a partir de la determinación de áreas potenciales para el desarrollo de la acuicultura sustentable en la presa Malpaso, Chiapas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Panorama de la pesca y la acuicultura

Según datos del Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), en lo referente a la captura de recursos pesqueros (1.5% de las capturas mundiales), nuestro país se ubicaba dentro de los primeros 20 países del mundo, actividad que representaba una fuente importante de alimentos para la población, aportaba insumos para la industria y divisas por la venta de producto de alto valor comercial; en ese mismo sentido, señala que la pesca es una actividad compleja por la diversidad de hábitat y de los ecosistemas acuáticos, tanto oceánicos, costeros y continentales; cada pesquería tiene su propia dinámica, derivada de las características biológicas del recurso, por lo que se requiere de infraestructura, tecnología y administración adecuadas y es una cadena productiva con su propia racionalidad económica, social y ambiental (INAPESCA, 2006).

La acuicultura consiste en la producción controlada de organismos acuáticos, mediante un conjunto de conocimientos, técnicas, tecnología e investigación que representa una importante actividad económica por la producción de alimentos, principalmente. Más de la mitad del total de los alimentos de origen acuático consumidos por la población mundial, procede de granjas acuícolas en las que se crían peces (Carreras, 2015). La pesca y la acuicultura son asuntos de seguridad nacional y parte importante del quehacer económico y social del país (INAPESCA, 2006).

En este sentido, la acuicultura surge como un sector productivo primario a la par de la agricultura y la ganadería, que representó el de mayor crecimiento a nivel mundial de toda la economía en la década de 2004 a 2014; resulta estratégica en el combate contra el hambre y la pobreza, crea empleos y dinamiza el mercado interno por la demanda de insumos, por lo tanto, representa un gran impacto socioeconómico, que va desde las unidades familiares de traspatio hasta las comerciales altamente tecnificadas e intensivas, la acuicultura es rentable y un buen negocio rural. México por sus características físicas, naturales y sociales, posee todas las condiciones idóneas para tener un liderazgo mundial en el sector acuícola (Platas & Vilaboa, 2014).

Estimaciones de la FAO, indican que, aproximadamente 88% de los 179 millones de toneladas de la producción pesquera total fueron empleados para consumo humano directo, mientras que 12% restante fue para fines no alimentarios; el pescado vivo, fresco o refrigerado, representó la mayor parte del pescado utilizado (44%), para el consumo humano directo (FAO, 2020).

Desde 2016, esta actividad ha representado la principal fuente de alimento disponible para la población humana; a partir del 2018, esta proporción se estimaba que era del 52%, cifra que seguirá aumentando a largo plazo; ya que se amplió la disponibilidad de alimentos (pescado) a regiones y países que tenían un acceso limitado o nulo a las especies cultivadas, a precios más bajos y accesibles, y que sin duda ha contribuido a mejorar la nutrición y la seguridad alimentaria (FAO, 2020).

La FAO, estima que antes de 2030 más del 65% de los alimentos acuáticos procederán de la acuicultura, al considerarla como una actividad que contribuye al manejo adecuado de los recursos naturales, a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico, con un limitado y controlable impacto sobre el medio ambiente (FAO, 2019).

En el año 2018, la producción acuícola mundial alcanzó 114.5 millones de toneladas de peso vivo, con un valor total de venta en la explotación de 263,600 millones de USD, esta producción total consistió en 82.1 millones de toneladas de animales acuáticos, 32.4 millones de toneladas de algas acuáticas y 26,000 toneladas de conchas marinas ornamentales y perlas; en cuanto a la producción de animales acuáticos fue dominada por los peces de aleta (54.3 millones de toneladas). La producción acuícola en cultivos controlados (57 millones de toneladas) supero al subsector de producción sin alimentación en la acuicultura mundial (FAO, 2020).

En México, la acuicultura nació como una actividad complementaria de apoyo social a las comunidades rurales, con la cual se pretendía incrementar el consumo de proteína animal y mejorar así los niveles nutricionales de la población (Juárez-Palacios, 1987). Chiapas se encuentra dentro de la zona de convergencia del planeta, donde confluyen las zonas neárticas y la neotropical, situación que le confiere condiciones biológicas, hidrológicas y climatológicas, que propician la diversidad de ecosistemas y de recursos naturales; estas ventajas geográficas y naturales han permitido el desarrollo de diversas

actividades económicas del sector primario, entre las destacan la pesca y la acuicultura (Secretaría de Hacienda, 2007).

La acuicultura, se ha convertido en una importante alternativa en la generación de empleos, que fomenta el arraigo en las comunidades y produce alimentos de gran calidad nutricional para el ser humano; en Chiapas, además representa ingresos para segmentos significativos de la población y un motor de desarrollo, sobre todo económico, para las zonas que cuentan con potencial para esta actividad (Amador-del Angel *et al.*, 2006).

2.1.1 La acuicultura a nivel mundial y en México

Para 2015, 89% de la producción acuícola a nivel mundial era provista por países en desarrollo y China contribuía con 68%, desarrollo basado con el objetivo de aumentar la oferta interna de alimentos y el ingreso de divisas; a través de una producción acuícola sobre todo continental de tipo familiar que sirve para complementar el ingreso de granjas familiares y al consumo interno; en este sentido México, ocupaba el vigésimo lugar, con un crecimiento anual del 4%, mientras que en países como China, Indonesia y Vietnam se observan crecimientos anuales superiores al 35%; naciones que priorizaron, la producción de alimento y el desarrollo del pequeño productor acuícola (CEDRSSA, 2015).

La FAO estima que, la producción mundial de pescado alcanzó 179 millones de toneladas en 2018, con un valor total estimado de 401,000 millones de USD, de los cuales 82 millones de toneladas, por valor de 250,000 millones de USD, procedieron de la producción acuícola; del total general, 156 millones de toneladas fueron para consumo humano (20.5 kg per cápita/año) y los 22 millones de toneladas restantes se destinaron a usos no alimentarios, principalmente para la producción de harina y aceite de pescado (FAO, 2020).

China como principal productor de pescado, registró 35% de la producción mundial en el mismo año; una proporción importante de la producción procedió de Asia (34%), seguida de las Américas (14%), Europa (10%), África (7%) y Oceanía (1%); esto demuestra que, la producción total de pescado ha experimentado importantes aumentos en todos los

continentes en los últimos decenios, excepto en Europa y las Américas, mientras que en África y Asia casi se ha duplicado en los últimos 20 años (FAO, 2020).

Datos del año 2018, estiman que aproximadamente 59.51 millones de personas se empleaban en el sector primario, específicamente en la pesca y la acuicultura (14% eran mujeres), de las cuales, cerca de 20.53 millones se empleaban en la acuicultura y 38.98 millones en la pesca, destacando que, el mayor número de pescadores y acuicultores se encuentra en Asia (85% del total mundial), seguido de África (9%), las Américas (4%) y Europa y Oceanía (1% cada uno) (FAO, 2020).

A finales del Siglo XIX, inicia la actividad acuícola en México, en la décadas de los 80s, se comenzó a practicar la acuicultura de peces marinos como el pámpano, en jaulas flotantes; posteriormente, se cultivó la mojarra tilapia, el bagre y las ostras; cultivos de pescado y marisco que se centraron primero, en sostener a las poblaciones locales, pero con el paso del tiempo se fue desarrollando la capacidad de exportar a otros mercados a nivel mundial (Regal Springs México, 2018).

Como ya se ha señalado, la acuicultura, además del aporte de alimentos ricos en nutrientes y de gran valor proteínico, tiene gran importancia socioeconómica; es una de las mejores técnicas para producir alimentos y aprovechar los recursos acuáticos. Esta actividad se desarrolló de forma complementaria a la pesca, constituida por unidades productivas dedicadas principalmente al cultivo de peces, siendo la mojarra tilapia el pez más cultivado a nivel mundial, por su demanda en el mercado, por su ciclo reproductivo, que es relativamente conocido y sencillo, pero además tiene un rápido crecimiento, es resistente a la manipulación y a enfermedades, acepta alimento balanceado y soporta alta densidad en los cultivos (CEDRSSA, 2015).

México posee una extensión territorial de 1,964,375 km², con una superficie continental de 1,959,248 km² e insular de 5,127 km²; ostenta una gran variedad de sistemas costeros y marinos dentro de sus aguas territoriales: 12,500 km² de superficie de lagunas costeras y esteros, y 6,500 km² de aguas interiores como lagos, lagunas, represas y ríos; recursos naturales que aunados a la ubicación geográfica privilegiada con la que cuenta, le confieren un gran potencial para el desarrollo del sector pesquero y acuícola (DOF, 2020).

No obstante lo anterior, dicho desarrollo ha estado condicionado al estado físico que guardan los activos productivos (embarcaciones y unidades de producción acuícola) con los que se cuenta, así como las posibilidades y capacidades que tienen los pescadores y acuicultores, sobre todo aquellos ribereños y rurales; y a las características propias de cada región del país, en lo que a materia del estado de salud de las pesquerías y especies de interés comercial se refiere (DOF, 2020).

La actividad pesquera y acuícola consiste en la captura y cría de peces, crustáceos, moluscos y otros organismos de aguas saladas y dulces para aprovechar algunos recursos de la naturaleza sin transformarlos; actividades que, proporcionan alimento y representan una fuente de ingresos para muchas familias; mismas que se diferencian porque la pesca es una actividad extractiva que se realiza en mares, lagos, ríos y lagunas, mientras que la acuicultura, se caracteriza por la cría de especies en ambientes controlados, como estanques o piscinas (FAO, 2020).

La Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables, define a la acuicultura, como el conjunto de actividades dirigidas a la reproducción controlada, preengorda y engorda de especies de fauna y flora realizadas en instalaciones ubicadas en agua dulce, marina o salobre, por medio de técnicas de cría o cultivo, que sean susceptibles de explotación comercial, ornamental o recreativa; que además tiene como finalidad apoyar el desarrollo sostenible, evitando la sobreexplotación pesquera y ambiental sobre los recursos acuáticos, proporcionar trabajo alternativo o complementario en el sector pesquero y otras actividades conexas, especialmente en regiones pesqueras en crisis o rurales con alto grado de marginación; generando arraigo en las comunidades de origen, ingresos y divisas con los bienes de uso y consumo que demandan los países desarrollados (productos pesqueros de calidad, pesca deportiva, comercio ornamental, productos de interés industrial, entre otros) (CEDRSSA, 2015).

Para el año 1987, México tenía un registro de 53 centros acuícolas públicos que producían 433 millones de crías, semillas y alevines, de los cuales dejaron de funcionar 40 centros, provocando que la producción de crías disminuyera un 95%, situación que significó que no se alcanzaran mayores niveles de producción y que productores rurales no pudieran continuar con su producción, puesto que el material biológico es uno de los

insumos más caros para desarrollar la acuicultura; en este mismo sentido, para el 2015, existía un registro de 9,230 Unidades de Producción Acuícola (UPA) ocupando una superficie total de 115,910 hectáreas, destacando que 75% de esta área, se dedicaba al cultivo de camarón; con respecto a la tilapia, era la especie que se producía en más UPA, no obstante, 80% de ellas correspondían a cultivos semi-intensivos y con producción baja (CEDRSSA, 2015).

Datos más recientes, señalan que en México hay 23,293 unidades de producción pesquera y acuícola, de los cuales 16% corresponde a la acuicultura y 84% a la pesca. Las entidades con mayor producción pesquera son Sonora, Sinaloa, Baja California, Baja California Sur, Yucatán, Tamaulipas, Chiapas y Campeche (INEGI, 2019).

2.1.2 Empleo en la acuicultura mexicana

El Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, refiere que, en al 2013, se tenía un registro de 272,533 pescadores y acuicultores dedicados de manera directa a esta actividad, estadísticas oficiales que, no hacían una diferenciación entre las personas que se dedican a la pesca y las que lo hacen a la acuicultura, por tanto, el número de productores que se dedican exclusivamente a la acuicultura no se conoce; por cada persona ocupada directamente, se empleaban cuatro de manera indirecta, debido a la cadena de comercialización (CEDRSSA, 2015).

Este mismo informe, pero del año 2017, señala que en México, 295,033 personas se dedicaban directamente a la pesca y acuicultura, de las cuales 238,783 se dedican a la captura y 56,250 a la acuicultura; información, obtenida a partir de estimaciones que se realizan en la CONAPESCA con base en los activos y factores, lo cual no necesariamente coincide con el número de personas que realmente están operando en la actividad; de igual manera, para el estado de Chiapas, se estima una población total de 19,235 personas dedicadas a esta actividad, de las cuales 18,075, corresponden al sector de pesca ribereña, 205 a pesca de altura y 955 a la acuicultura (CONAPESCA, 2020).

Para el año 2019, en México, había 213,246 personas (población económicamente activa) que trabajaban en el sector acuícola. Comparada con otros sectores de la economía, la actividad pesquera ocupaba el quinto lugar por el número de personas que trabajaban en ella; en esta industria, el número de hombres es mayor que el de mujeres (12% mujeres y 88% hombres) y Baja California es la entidad con el mayor número de personas trabajadoras en la actividad pesquera (INEGI, 2019).

Datos más actualizados del Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura, en su edición 2021, señala que, en Chiapas, 18,704 personas se dedican a actividades relacionadas con este sector, de las cuales solo 955 pertenecen a una producción con sistemas acuícolas controlados (acuicultura), cifra que en los últimos 10 años ha tenido variaciones que no necesariamente reflejan un incremento en el número de personas que se dedican a esta actividad (CONAPESCA, 2021).

2.1.3 Producción pesquera mexicana

La producción pesquera mundial en 2016 fue de 201.1 millones de toneladas de peso vivo, de las cuales México participó con 1.7 millones de toneladas de peso vivo (0.84%); en 2017 la producción mexicana fue mayor con 2.1 millones de toneladas de peso vivo; producción muy por debajo de lo reportado en países como Perú (3.7 millones de toneladas), Chile y Estados Unidos; en los últimos 10 años la producción pesquera y acuícola, se incrementó 19%, con un promedio de 1.8 millones de toneladas en especies como la mojarra, anchoveta, macarela, camarón y pulpo, con un valor promedio de 24,000 millones de pesos en el periodo 2008-2017, significando un incremento de 135% al pasar de 17,000 mdp (2008) a 40,000 mdp (2017), debido principalmente al aumento de precios en el mercado nacional de especies como el camarón, mojarra, pulpo, atún y guachinango, principalmente (CONAPESCA, 2020).

En México, la contribución de la pesca y acuicultura al PIB agropecuario en 2018 fue de 2.5%, equivalente a 0.08% del PIB nacional, habiendo mostrado una tasa de crecimiento negativa de 5.0% (-4.9% en 2017); entre 2016 y 2017 la disminución de la contribución del sector pesquero y acuícola fue de alrededor de 5 puntos porcentuales en la tasa media de crecimiento anual del PIB (CONAPESCA, 2020).

Por origen, las principales especies acuícolas, en volumen y valor, son la mojarra, camarón y trucha; mientras que respecto a las especies de captura se registran el camarón, atún, pulpo, mojarra, anchoveta, macarela, jaiba, guachinango y langosta; la producción nacional pesquera (2018) ascendió a 2 millones 159.6 mil toneladas en peso vivo; de este volumen, 17.3% proviene de acuacultura, dentro de la cual 77% tiene su origen en la maricultura (SIAP, 2019).

México se posiciona entre las primeras potencias agroalimentarias productoras y exportadoras de bienes para el mundo con una gran contribución social y productiva de las mujeres rurales mexicanas, cuyo aporte va más allá de los invaluable servicios que prestan para los suyos, sus comunidades y la sociedad nacional; se estima que, 778 mil mujeres en México las que trabajan en el sector primario, de las cuales 1.4% se dedica a la pesca; esta realidad numérica de la situación de las mujeres rurales orienta el curso de acción de los desafíos en materia de igualdad (SIAP, 2019).

La producción pesquera y acuícola nacional registrada entre enero y junio de 2018 fue de un millón 51 mil toneladas en peso vivo, volumen superior en 4.4% respecto a igual periodo del año 2019 (ver anexo 1); asimismo, de septiembre de 2017 a junio de 2018 se ejercieron 336.5 millones de pesos, de los cuales 212.3 millones de pesos se destinaron a apoyar 66 proyectos de acuacultura rural, mejoramiento productivo de embalses, acuacultura comercial en aguas interiores y maricultura (CONAPESCA, 2020).

En 2019, la producción nacional pesquera ascendió a 2 millones 159.6 mil toneladas en peso vivo; de este volumen, 17.3% proviene de acuacultura, dentro de la cual 77% tiene su origen en la maricultura (SIAP, 2019). La mayor producción pesquera promedio se obtiene en el litoral Pacífico, representando 82% de la producción nacional, seguido por el litoral del Golfo y el Caribe que aportaron en conjunto 16%; por su parte las entidades sin litoral, aportaron 2% a la producción nacional; del litoral Pacífico las entidades con mayor participación en la producción pesquera fueron: Sonora, Sinaloa, Baja California Sur y Baja California; y en el litoral del Golfo y el Caribe fueron los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Tamaulipas (CONAPESCA, 2020).

2.1.4 Aportación de la mojarra en la producción acuícola nacional

Como ya se ha señalado, el cultivo de mojarra es uno de los sistemas productivos más rentables por su rápido crecimiento, su resistencia a enfermedades, tolerancia a diversas condiciones y manejo, así como la aceptación de una amplia gama de alimentos, por su sabor y mercado; México es el noveno importador mundial de mojarra, sus compras representan 2.5% de los 3.8 millones de toneladas que se comercian anualmente (SIAP, 2019); en este mismo sentido, los principales estados productores de mojarra son Chiapas, Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Nayarit y Veracruz, cuyo potencial se sustenta en su cultivo en granjas acuícolas (Tabla 1). El consumo anual per cápita de este producto es de 2.0 kg.

Tabla 1. Producción nacional de tilapia

Rank	Entidad Federativa	Región	Volumen (Ton)	Variación (%) 2017-2018
	Total Nacional		168,359	-6.4
1	Jalisco	Centro-Occidente	35,887	-9.2
2	Chiapas	Sur-Sureste	28,230	5.5
3	Michoacán	Centro-Occidente	17,615	-31.9
4	Sinaloa	Noroeste	17,553	8.5
5	Nayarit	Noroeste	14,292	0.4
6	Veracruz	Sur-Sureste	12,386	-5
7	Tabasco	Sur-Sureste	7,620	8
8	Guerrero	Centro	5,674	-10.6
9	México	Centro	4,948	-3.2
10	Hidalgo	Centro	4,457	-2.7
	Resto		19,697	-7.1

FUENTE: SIAP. Atlas Agroalimentario 2019.

México figura entre las naciones que más productos agroalimentarios exportan con una gran variedad y calidad de productos, potenciando la exportación y consolidación del comercio internacional con saldo favorable, de tal manera que existe una variada oferta internacional de bienes mexicanos: agrícolas, ganaderos, pesqueros y agroindustriales (SIAP, 2019).

Dentro del sector agroalimentario México ocupa el 8° lugar como exportador. En 2018 dentro de los productos agroalimentarios exportados, se encontraba el camarón con una derrama económica de 370 millones de dólares (mdd). Asimismo, México ocupó el 13° lugar en el valor de las exportaciones mundiales de camarón, con 1.5% de participación. Los principales destinos de las exportaciones de México fueron Estados Unidos, Vietnam y Francia, con 275, 53 y 13 mdd respectivamente (SIAP, 2019).

2.1.5 Perspectivas de la industria del cultivo de tilapia en México

La tilapia se cultiva a nivel mundial; sobresaliendo China, como el principal país productor al exportar más de 1,000,000 ton/año, a partir del año 2009, en este mismo sentido, México ocupa el lugar número 28 a nivel mundial con una producción de 143,747 toneladas de especies de agua dulce, dentro de las cuales destaca la tilapia, que ha aportado 91% de la producción nacional; sin embargo, la producción acuícola se ha incrementado a la par con los problemas ambientales y su sustentabilidad, por lo tanto, es necesario atender estándares sustentables, que abarquen aspectos ambientales, económicos y sociales (Omelas-Luna *et al.*, 2017).

El incremento en la producción, ha sido propiciado por el desarrollo de granjas con diversos sistemas productivos, entre los que destacan el cultivo en estanquería rústica, el cultivo en piletas circulares y en jaulas flotantes, con mayor uso en el sureste mexicano, siendo estos tres sistemas de producción una alternativa de negocio sustentable (FIRA, 2019).

En México, el consumo per cápita de tilapia aumentó 2.84 veces al pasar de 0.78 a 2.21 kilogramos del 2008 al 2017, para abastecer 36.6% del consumo aparente de 275,800 toneladas, nuestro país importa tilapia de China, de tal manera que en este mismo periodo, compró 1,403 millones de dólares de tilapia, siendo el segundo mercado mundial, sólo superado por Estados Unidos. México importó 100,100 toneladas con valor de 223.7 millones de dólares en el 2017 (FIRA, 2019).

Por todo lo anterior, las señales mundiales son claras, la acuicultura de tilapia continuará creciendo, como una alternativa viable y sustentable en países de Asia, África y América,

principalmente en Brasil, para abastecer de productos acuícolas a la población mundial (Tellez, 2019).

Hoy, la tilapia se posiciona como uno de los productos de acuicultura de mayor demanda, las expectativas de consumo continúan siendo favorables, el mercado nacional sigue siendo deficitario y depende de nosotros el aprovecharlo, incrementando la oferta nacional con el crecimiento y desarrollo sustentable de la industria del cultivo de tilapia, con unidades de producción de tamaño y tecnología rentable, programa de desarrollo de proveedores, economías de escala y mejor competitividad respecto a otros países productores (FIRA, 2019).

La industria del cultivo de tilapia en México requiere continuar su crecimiento para aprovechar las oportunidades de mercado y en ese sentido, FIRA, entidad de fomento originada en el Banco de México, cuenta con programas, productos y servicios financieros y tecnológicos para fomentar su crecimiento y desarrollo sostenible en el país (FIRA, 2019).

2.1.5.1 Producción nacional y estatal de Tilapia en los últimos 10 años

La pesca y la acuicultura se han constituido a nivel global como actividades económicas importantes por los impactos favorables que generan en la socioeconomía de las diversas regiones donde se practican (FAO, 2021).

Para el 2016, la producción mundial de tilapia fue de 5.89 millones de toneladas, se trata de una industria con muy alto crecimiento, ya que en tan solo diez años (2006 al 2016), la producción paso de 2.26 a 5.89 millones de toneladas; de acuerdo con el reporte de, Estados Unidos y México son los dos mercados más grandes para la tilapia china, aunque las exportaciones a Estados Unidos han disminuido FAO (2018). También detalla que las importaciones de tilapia en la Unión Europea en 2017 aumentaron a 28,300 toneladas, esto es, 5.3% mayor a las registradas en el 2016 (Tellez, 2019).

En 2019 se logró registrar una producción mundial de 177.8 millones de toneladas, de las cuales el 52 % correspondió a la pesca y 48 % a acuicultura, siendo la tilapia el segundo grupo más importante de peces cultivados, después de la carpa; de 2010 a 2019, mostró una marcada tendencia a la alza, ya que creció de 2.6 millones de

toneladas en 2010 a 4.5 millones de toneladas en 2019, lo que representó un incremento del 72.7 %; esta producción promedio anual durante de dicho período fue de 3.8 millones de toneladas (FAO 2021).

La producción en México en el 2017 fue de 179,900 toneladas de mojarra, de éstas, 30,800 toneladas son capturas de mojarra marina y 149,100 toneladas son mojarra tilapia, de las cuales 93,700 toneladas son producidas vía pesquerías acuaculturales; mientras en Chiapas la producción de tilapia para 2018 fue de 23,000 toneladas (CONAPESCA, 2020).

Para 2018, la producción nacional de tilapia registrada fue de 168,359 toneladas, de las cuales 31.3 % correspondió exclusivamente a sistemas controlados de acuicultura y el resto a actividades pesqueras entre las que se incluyen las pesquerías acuaculturales en embalses que se sostienen gracias a la siembra periódica de crías; la tasa media de crecimiento anual de producción de tilapia en México en los últimos 10 años fue de 9.1. La producción de tilapia por su volumen y valor se ubicó en el tercer lugar de la producción pesquera nacional (CONAPESCA, 2018).

La producción de crías de tilapia, constituye el insumo más importante de este segmento de la industria acuícola nacional, ya que se provee al acuicultor de crías para su engorda; mismas que se producen en laboratorios, para su posterior traslado a diferentes ambientes de cultivo comercial como tanques, estanques, jaulas flotantes y cuerpos de agua dulce, instalados en embalses, lagos y canales, principalmente (Urías-Sotomayor *et al.*, 2022).

En 2018 se produjeron en México 169.2 millones de crías a través de la operación de 169 laboratorios de producción, con un promedio anual de 2014 a 2021 de 108,1 millones de crías, mientras que en 2021 la producción se redujo a 97 millones de crías en 52 laboratorios de producción (CONAPESCA, 2022). Esta reducción en la oferta de crías en los últimos cuatro años, es un factor limitante para cubrir en tiempo y forma la demanda nacional de dicho insumo, así como para abatir el déficit en la producción de tilapia generado por las importaciones de tilapia, estimado teóricamente en 511,9 y 383,9 millones de crías anuales, según escenarios de supervivencia del 50 y 66,6 %, respectivamente (Urías-Sotomayor *et al.*, 2022).

En México la producción de crías de tilapia (2014-2021), se registra a través de 169 laboratorios de producción, con un volumen anual estimado de 96.9 millones crías en 2021; la menor producción durante este período fue de 22.6 millones de crías (2014), mientras que la mayor producción fue 169.2 millones (2018), con un promedio de producción anual de 108.1 millones; para el 2021 operaban 52 laboratorios de producción, observándose una disminución de esta actividad productiva en los años 2020 y 2021, por efectos asociados a la pandemia del Covid-19 (CONAPESCA, 2022).

2.1.5.2 Detonadores de crecimiento del cultivo de tilapia

Mendoza (2017), identifica los factores y subfactores que influyen en el desarrollo de la acuicultura, señalando los siguientes:

Factor ambiente. Se da en tres sentidos:

Físico: Este factor determina el potencial de una especie para poder cultivarse con éxito en un espacio determinado sin necesidad de establecer un hábitat controlado.

Institucional: La política estatal, el soporte institucional, la planificación, programas de capacitación extensión y asistencia financiera, que pueden tener efectos positivos o negativos en el desarrollo de la acuicultura.

Social: entre ellos figuran las tradiciones, costumbres y creencias religiosas que afectan el consumo del pescado y la aceptación social de la acuicultura.

Factor espacio. Disponibilidad de espacios adecuados para el desarrollo de la actividad acuícola en diversos tipos de ecosistemas.

Factor Tecnológico. El desarrollo de Tecnologías de cultivo y de los productos y la innovación, adecuadas para el cultivo de determinadas especies.

Factor productivo. Planificación y gestión, insumos, operaciones y costos; como parte de la aplicación de tecnologías y sus cuatro subfactores.

Factor de mercado. Implica planificación y gestión, demanda, operaciones y beneficios. Como subfactores de mercado.

2.1.6 Ordenamiento acuícola y pesquero

De los recursos pesqueros que tradicionalmente son explotados en el país, muy pocos son los que se consideran con algún potencial de desarrollo, ya que en su mayoría están siendo utilizados a su máxima capacidad de producción biológica y algunas pesquerías se encuentran colapsadas; sin embargo, aún en donde existe aprovechamiento con máxima utilización, es decir alrededor de los niveles de rendimiento máximo sostenible, hay oportunidades de crecimiento en valor mediante: la mejora en la eficiencia de procesos, diversificación de productos y presentaciones, valor agregado al producto y aprovechamiento integral, aspectos considerados en los Programas de Ordenamiento Pesquero (SAGARPA, 2014).

2.1.6.1 Ordenamiento Acuícola

El Desarrollo Sustentable engloba tres aspectos básicos: ambiental, económico y social; para que el sistema pesquero y acuícola sea sustentable se requiere una visión holística, de tal manera resulta necesario tener en cuenta el punto de vista biológico y ecosistémico, social-económico y el jurídico-administrativo que, de manera integral, regula a los otros dos; por lo tanto, se requiere establecer una visión concreta de las acciones necesarias, para poder ubicar a las pesquerías y la acuicultura en el extremo positivo o de sustentabilidad (CONAPESCA, 2015).

La propuesta de Ordenamiento Acuícola comprende las etapas de caracterización, diagnóstico integrado y el modelo de ordenamiento acuícola; estas fases o etapas permiten el análisis del estado actual del sector y de los recursos acuáticos (caracterización y diagnóstico), estableciendo las estrategias para su aprovechamiento sustentable por unidad de producción con sus respectivos Planes de Manejo Acuícola (modelo OA) (SAGARPA, 2010).

2.1.6.2 Ordenamiento Pesquero

El Ordenamiento Pesquero es un conjunto de instrumentos cuyo objeto es regular y administrar las actividades pesqueras, induciendo el aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas, basado en la disponibilidad de los recursos pesqueros, información histórica de niveles de extracción, usos y potencialidades de desarrollo de

actividades, capacidad pesquera o acuícola, puntos de referencia para el manejo de las pesquerías y en forma congruente con el ordenamiento ecológico del territorio (SADER, 2020).

La meta primordial de la ordenación pesquera es el uso sostenible a largo plazo de los recursos pesqueros, para lograr este objetivo requiere de un enfoque proactivo y debería involucrar la búsqueda de formas de optimizar los beneficios derivados de los recursos disponibles; sin embargo, esto rara vez ocurre y la ordenación pesquera se practica más comúnmente como una actividad reactiva, donde las decisiones se toman y las acciones se ejecutan principalmente en respuesta a problemas o crisis (Cochrane, 2000). Este mismo autor, señala que, las decisiones en torno a este sector, se toman como resultado por tratar de resolver problemas inmediatos sin considerar otras perspectivas amplias y los objetivos a largo plazo; enfoque que podría evitar conflictos graves temporalmente, pero que generalmente no resulta en el mejor uso de los recursos utilizados por la actividad pesquera.

El ordenamiento pesquero conlleva estrategias y acciones de manejo para garantizar su conservación y desarrollo, preservando los recursos bióticos, abióticos y genéticos, sin degradar el medio ambiente, con técnicas apropiadas, viable económicamente y socialmente aceptable. Este requiere del aporte de información que fundamente la conservación de los ecosistemas costeros y marinos y de los recursos pesqueros, de forma que se garantice su sostenibilidad y los beneficios económicos y sociales derivados de su aprovechamiento, de manera que los resultados contribuyan a diversificar la actividad pesquera, generando desarrollo social y económico (Mancera-Rodríguez, 2001).

El ordenamiento pesquero se concibe como el proceso integrado de acopio de información, análisis, planificación, consulta, adopción de decisiones, asignación de recursos y formulación y ejecución, así como imposición cuando sea necesario, de reglamentos o normas que rijan las actividades pesqueras para asegurar la productividad de los recursos y la consecución de otros objetivos; es decir, se trata de un conjunto amplio y complejo de tareas encaminadas a conseguir los máximos beneficios para los

usuarios locales, el país o la región, mediante la utilización sustentable de los recursos acuáticos vivos a los que tienen acceso CONAPESCA (2015).

Por lo anterior, es necesario incorporar nuevos criterios y medidas de ordenamiento tales como el valor económico y ecológico de cada especie en el ecosistema, los aspectos de conservación de la biodiversidad, la protección de especies amenazadas que son capturadas incidentalmente, y otros valores como la demanda y los efectos del mercado; por ello se han desarrollado nuevos esquemas de ordenación pesquera entre los que destacan el manejo dinámico basado en cuotas de captura y otros incentivos, y el manejo basado en el ecosistema y planificación espacial marina (CONAPESCA, 2015).

2.2 Acuicultura en Chiapas

Chiapas cuenta con un amplio potencial pesquero, tanto de agua dulce como de mar, cuenta con 260 kilómetros de litoral y una zona exclusiva de explotación de 87,884 km², entre mar territorial y plataforma marítima continental; además de un sistema de lagunas estuarinas que comprenden una superficie de 76,240 km², y 110 mil hectáreas de aguas continentales (SEMAR, 2020).

Su ubicación en la franja tropical del planeta, propicia condiciones (biológicas, hidrológicas, climáticas y geológicas) que favorecen el desarrollo de diversos ecosistemas y sus recursos naturales, determinando una gran diversidad de especies de peces, cerca de cuatrocientas, tanto marinas como dulceacuícolas; estas últimas distribuidas en las 110,000 hectáreas de lagunas y embalses de aguas continentales, donde se encuentran La Angostura, Malpaso, Peñitas, Chicoasén y Playas de Catazajá, además de importantes ríos, como el Usumacinta y el Grijalva, que ofrecen una amplia disponibilidad de agua dulce (Orozco, 2004).

Chiapas se caracteriza por presentar una de las mayores riquezas hidrológicas de México; esta enorme cantidad de aguas superficiales ha propiciado la formación de grandes cuencas hidrológicas, como la Grijalva-Usumacinta, una de las más importantes del país, ya que contiene 30% de los recursos hidrológicos superficiales y 56% del potencial hidroeléctrico identificado para México (CONABIO, 2013)

Esta riqueza y diversidad de recursos hidrológicos ha generado la formación de una variedad de ambientes dulceacuícolas, marinos y costeros, que ha propiciado la colonización y el establecimiento de un gran número de especies de peces, que suman poco más de 200 de agua dulce y estuarino lagunares (Rodiles-Hernández *et al.*, 2005, citado por CONABIO, 2013). Así, estos recursos biológicos representan un potencial enorme para su manejo a través de la pesca y la acuicultura en sus diferentes modalidades (CONABIO, 2013).

En Chiapas, la acuicultura se ha llevado a cabo en tres modalidades: 1) repoblamiento en grandes embalses, en el sistema productivo de jaulas flotantes, que implica la producción en centros piscícolas para su posterior siembra y cosecha; 2) acuicultura rural, donde históricamente las dependencias de gobierno mantienen programas de fomento, mediante la donación de crías de peces para su engorda en estanques construidos en las comunidades rurales, y 3) acuicultura comercial o de alto rendimiento, basada en el cultivo de camarones en la costa del estado; cabe mencionar que no existen datos puntuales sobre la contribución de cada una de las modalidades a la producción global del estado (CONABIO, 2013).

2.2.1 Sistema de producción en jaulas flotantes

Considerado como una de las alternativas de producción más importante, proporciona un medio apropiado y seguro que permite mantener, alimentar y desarrollar los organismos hasta alcanzar la talla, peso y características adecuadas para su comercialización y consumo; este ofrece un espacio para el mantenimiento de los organismos en su medio natural, lo que significa que sus parámetros hidrobiológicos como oxígeno y temperatura, entre otros, se obtienen de manera natural, lo que puede permitir aumentar la densidad de cultivo y hacerlo más productivo (CONAPESCA, 2015).

El cultivo de la tilapia en Chiapas tiene ventajas competitivas en comparación con otras entidades que participan en esta actividad; son aprovechados los vastos embalses de agua creados por las presas La Angostura, Malpaso, Peñitas y Chicoasén, que brindan condiciones óptimas para el cultivo de la mojarra tilapia en jaulas flotantes sin incurrir en costos de electricidad por aireación y recambios de agua que pueden representar un ahorro de hasta el 30% del costo del cultivo (Pérez, 2022).

Los cultivos en jaulas presentan diversas ventajas y beneficios con relación a otros sistemas de cultivos, destacando: mayor capacidad de cultivo por unidad de área y/o volumen, lo cual puede ser optimizado en función a una adecuada selección de sitios así como a los procedimientos de manejo y calidad sanitaria; menor inversión y altos ingresos económicos por su alta productividad; no requiere de terrenos con obra civil ni instalaciones costosas y además tiene la posibilidad de reubicarse con relativa facilidad; características que le otorga a estos sistemas ventajas competitivas muy importantes que lo ubican como una alternativa de gran potencial en la producción, (CONAPESCA, 2015).

2.2.2 Riqueza hídrica en Chiapas

El estado está integrado por tres grandes regiones hidrológicas: Costa de Chiapas, Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta. La primera se localiza en la costa y contiene cuatro cuencas hidrológicas: río Suchiate; río Huixtla; río Pijijiapan y por último la cuenca Mar Muerto; la segunda región hidrológica, la de Coatzacoalcos, tiene una representatividad simbólica, con tan solo 0.03% de la superficie estatal y finalmente, la región hidrológica Grijalva-Usumacinta es la más grande en el estado y sin duda la más importante del país, ocupa 85.53% de la superficie estatal, con seis cuencas hidrológicas (MPS AC, 2012).

La región hidrológica de los ríos Grijalva-Usumacinta, en el sureste de México, es una de las zonas ecológicas con más alta diversidad biológica y cultural del territorio mexicano; aunque representa solamente 4.7% de la masa continental del país, sus ecosistemas albergan 64% de la biodiversidad nacional conocida (INECC, 2017).

Algunos de sus más relevantes rasgos geomorfológicos y climáticos, dieron lugar al nacimiento de dinámicos sistemas fluviales cuyas corrientes se precipitan hacia el litoral, desde alturas superiores a los 2,000 msnm, después de largos y sinuosos recorridos, acarreado ricas tierras aluviales y formando las mayores planicies costeras de México; este inmenso trabajo de la naturaleza es fundamentalmente obra de los ríos que integran la compleja cuenca del Grijalva-Usumacinta (INECC, 2017).

Con el objetivo de controlar y regular las avenidas de los ríos y al mismo tiempo generar energía eléctrica, en Chiapas se llevó a cabo un vasto programa que consideró la construcción de presas hidroeléctricas en puntos estratégicos de las cuencas altas; en una primera etapa, se propuso el control y la regulación del sistema del río Grijalva con la construcción de cuatro grandes presas hidroeléctricas: La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas; de estas presas sólo La Angostura y Malpaso fueron diseñadas para regular avenidas y la capacidad de ambas es de 11,400 mm³ (ATT Innova, 2015).

El río Grijalva nace en Guatemala en la Sierra de Cuchumatanes, entra a México, recorriendo la depresión central de Chiapas, donde sus aportaciones son primero reguladas a través de la presa La Angostura en el Alto Grijalva, aguas abajo el río Grijalva bordea la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Capital del estado de Chiapas, aguas abajo se ubica la presa Chicoasén, la más eficiente en generación eléctrica del país, posteriormente el Grijalva cuenta con las aportaciones por margen izquierda del río La Venta y por la margen derecha de los ríos Chicoasén y Yamonho, donde se ubica la presa Malpaso, después recibe las aportaciones de varias corrientes que dan origen al río Mezcalapa, como se le llama localmente al río Grijalva, después se bifurca en los ríos Samaria por su margen izquierda, el cual desemboca el golfo de México (OMM, 2006).

2.2.2.1 Presa Netzahualcóyotl (Embalse Malpaso)

La presa Netzahualcóyotl, se ubica en un estrechamiento del río Grijalva denominado Raudales de Malpaso, localizado a 2.5 km aguas abajo de la confluencia de los ríos La Venta y Grijalva; esta, se encuentra ubicada en el cauce del río Grijalva entre los municipios de Copainalá, Tecpatán y Ocozocoautla de Espinosa; se ubica entre las coordenadas geográficas 93° 45' 20" de longitud oeste y 17° 00' y 17° 15' de latitud Norte, comprendida en la depresión central del estado y cuenta con una central hidroeléctrica que tiene una capacidad de generar 1,080 mega watts de energía eléctrica (ATT Innova, 2015).

Su construcción se realizó entre 1958 y 1966; fue la primera y más importante del conjunto de obras hidroeléctricas que fueron realizadas en la cuenca del río Grijalva para el desarrollo del sureste de México; se tiene acceso a la obra por un camino asfaltado de

115 km de longitud; el aeropuerto más cercano se ubica en la ciudad de Villahermosa, a 51 km de la población de Cárdenas (ATT Innova, 2015).

Este embalse tiene una longitud desde la cortina hasta la cola sobre el río Grijalva de 55 km; de acuerdo con la información reportada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) el embalse tiene un almacenamiento máximo de 9,750 millones de m³ a una elevación de 177.19 m reportada el 21 de enero de 1967. El embalse cuenta con un área de 23,000 hectáreas a la elevación de 163.69 m.s.n.m cresta del vertedor, aumentando a 30,000 hectáreas a la elevación 188.00 m.s.n.m nivel de aguas máximas extraordinarias. La capacidad en millones de metros cúbicos para azolves se encuentra en un rango de 1000 a una elevación de 126.0 m.s.n.m, mientras que para la generación de energía va de los 7,300 a los 8,300 a una elevación de 170.8 m.s.n.m.; los usos del embalse son: control de avenidas, generación de energía, riego agrícola, pesca y turismo (ATT Innova, 2015).

En lo que corresponde a la ictiofauna está representada por especies de Mojarra negra (*Oreochromis mossambicus*), Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Tenguayaca (*Petenia splendida*), Pringadita (*Paraneetroplus regani*), Mojarra Zacatera (*Paraneetroplus hartwegi*), Mojarra paleta (*Paraneetroplus melanurus*), Mojarra tinta o tigre (*Parachromis managuensis*) y Bagre (*Ictalurus meridionalis*) (CONABIO, 2013).

Regionalmente, su geomorfología está conformada por plegamientos de sedimentos marinos del Cretácico y Cenozoico pertenecientes al Geosinclinal Mexicano; formaciones representadas, por calizas, lutitas con intercalaciones de calizas, conglomerados, areniscas y materiales de aluvión reciente; todas las formaciones marinas anteriores han estado expuestas a un intemperismo intensivo en un clima tropical húmedo, lo que ha propiciado la formación de grandes espesores de suelos residuales parcialmente lateríticos que cubren esas formaciones con espesores variables entre 0 y 30 m (CONAPESCA, 2015).

La topografía se caracteriza por la presencia de un cuerpo de agua cuya profundidad máxima es de aproximadamente 250 metros, la composición batimétrica en la porción noreste presenta ligeras pendientes que van desde los 0 a los 20 metros de profundidad, decayendo abruptamente hasta los sesenta metros de profundidad sobre la porción

media central de la presa; en la porción central y suroeste las profundidades decrecen muy cerca de la costa con un dominio del rango de los 20 a los 30 metros principalmente en las áreas donde se forman brazos y estrechas entradas de la presa al continente, en la porción central es donde se encuentran las mayores profundidades (CONAPESCA, 2015).

2.2.3 Producción pesquera en Chiapas

En 2018, la producción pesquera de Chiapas ascendió a 61,232 toneladas en peso vivo, con un valor total de la producción de 1,330,180 pesos. La mojarra fue la especie que aportó mayor volumen de producción con 28,230 toneladas y un valor de 551,884 pesos (CONAPESCA, 2018).

Por su valor comercial, la pesquería del camarón es de las actividades económicas más importantes en el estado; sin embargo, de acuerdo con datos del SIAP, en el 2018, la producción fue de 1,093 toneladas aportando así, 7.7% del valor tal de la producción pesquera en el estado, la producción ha decaído 37.96%; caso contrario, la pesca de ha observado un crecimiento significativo, siendo la mojarra la especie líder en la producción, aportando 41.5% del valor total, seguida del Atún (35 %), el tiburón (7.7 %) y el robalo (1.1 %); en la entidad existen 180 organizaciones que agrupan alrededor de 24,000 pescadores, de los cuales, solamente 12,558 realizan la pesca legal y se encuentran debidamente empadronados en el Registro Nacional de Pesca (CONAPESCA, 2020).

La Mojarra por su volumen se encuentra en el lugar 5 y en el valor de la producción pesquera en México, se encuentra posicionada en el lugar 4; la tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de -0.86%; datos más recientes, presentados en el Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca (2021), ubican a Chiapas como el principal productor de mojarra Tilapia, con una producción anual de 24,801 toneladas, equivalente al 32% de aportación a la producción nacional (CONAPESCA, 2021).

Chiapas ocupa el décimo lugar en valor de la producción pesquera nacional y el séptimo en el volumen por peso desembarcado; en 2021 la producción pesquera total contabilizó

50,191 toneladas, donde destacan dos productos: mojarra (33,808 Ton) y atún (6,121 Ton); asimismo, el valor de la producción pesquera pasó de 447 millones de pesos en 2011 a 1,464 millones de pesos en el 2020. Este crecimiento fue impulsado en gran medida por la acuicultura de mojarra y las inversiones que se han realizado en la industria del atún (Pérez, 2022).

En cuanto a la infraestructura para el desarrollo de la actividad en Chiapas, alrededor de 17,119 personas se dedican a la pesca y la acuicultura, existen 15 plantas pesqueras, cuatro embarcaciones mayores activas, 5,667 embarcaciones menores y 526 unidades de producción acuícola. Un gran volumen de los productos de la pesca y la acuicultura en el estado, salvo el atún, son comercializados en fresco, con poco o nulo valor agregado (Pérez, 2022).

2.2.4 Dinámica económica de la acuicultura y la pesca en Chiapas

La acuicultura comprende sistemas diversos de producción de plantas y animales en zonas continentales y costeras; la pesca continúa desempeñando un papel importante, y en muchos lugares es todavía suficiente para atender las necesidades de subsistencia e incluso puede constituir una fuente valiosa de ingresos en efectivo para los agricultores; por lo tanto, la acuicultura se convierte en un medio atractivo e importante de subsistencia en aquellas situaciones en que las crecientes presiones demográficas, la degradación ambiental o la pérdida de acceso limitan las capturas de las pesquerías naturales, cuyos beneficios en el desarrollo rural están relacionados con la salud y la nutrición, el empleo, el ingreso, la reducción de la vulnerabilidad y la sostenibilidad agrícola (FAO, 2020).

En este sentido, la pesca y acuicultura constituyen los medios de vida de cerca de 820 millones de personas en el mundo, la mayoría de ellos en zonas rurales y con acceso limitado a información de mercados e infraestructura; con frecuencia, como resultado del manejo y procesamiento inadecuados, falta de instalaciones adecuadas para almacenamiento y tecnologías de distribución, se registran grandes pérdidas postcosecha de volúmenes ya reducidos, contribuyendo a la condición de pobreza de muchos pequeños productores, que suelen depender de mano de obra familiar no remunerada, incluida la de las mujeres y en ocasiones niños (FAO, 2021).

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social (SADER, 2020), señala que la pesca, a nivel mundial, produce cada año más de 100 millones de toneladas de pescado y otros productos pesqueros, contribuye al bienestar humano proporcionando un medio de vida a unos 200 millones de personas; dentro de las acciones para incrementar el bienestar en las zonas pesqueras y seguir desarrollando una pesca sostenible se encuentran:

- a) El establecimiento de vedas.
- b) Elaboración e implementación de Planes de Manejo Pesquero.
- c) La colaboración con distintas instituciones nacionales e internacionales que protejan los recursos pesqueros y acuícolas.
- d) Implantación de diversas acciones de inspección y vigilancia de las diferentes especies.

De acuerdo con Marín (2007), en las comunidades pesqueras los procesos de captura y comercialización se encuentran fuertemente impregnados por aspectos sociales y culturales; algunas características que dan forma a la realidad que viven los pequeños productores en distintas partes del mundo, son:

- i. Se trata de empresas en pequeña escala, por lo que resultan vulnerables a las amenazas externas, especialmente las procedentes del sector pesquero en gran escala.
- ii. Se hallan dispersas y, existe una dependencia directa de los ecosistemas marinos cercanos a ellas, son particularmente vulnerables al agotamiento de los recursos.
- iii. Casi todas las comunidades pesqueras practican una regulación basada en la comunidad, que puede distinguirse de la ordenación instituida por la autoridad gubernamental.
- iv. La mayor parte de las prácticas de ordenación basada en la comunidad incluyen la afirmación de derechos a espacios de pesca y el intento de excluir de ellos a los extraños a la comunidad.
- v. Las comunidades pesqueras están más vulnerables a causa de problemas externos, como la globalización creciente, la contaminación marina y, en algunos lugares, al incremento de la industria del turismo.

Actualmente, las circunstancias de las comunidades rurales costeras en México, colocan a los pescadores en un estado de vulnerabilidad que limita su bienestar y calidad de vida, pero también restringe las condiciones para el desarrollo de su actividad que, necesitan para ir más allá de una pesca de subsistencia; por citar alguna, las mínimas condiciones de urbanización en algunas comunidades limitan a los pescadores en términos de infraestructura y servicios para ofrecer mejor calidad de sus productos; en muchos lugares carecen de la electricidad necesaria para el funcionamiento de cuartos fríos y bodegas, y las condiciones sanitarias necesarias para el manejo adecuado del producto, que les permitan acceder a otros mercados donde puedan alcanzar mejores precios (Inteligencia Publica, EDF de México, 2019).

2.3 El desarrollo sustentable

El concepto de Desarrollo Sustentable fue utilizado por primera vez en el reporte denominado Nuestro Futuro Común, también conocido como Informe Brundtland, publicado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, en este informe se identifican los elementos de la interrelación entre ambiente y desarrollo, donde se hace un llamado a todas las naciones del mundo a adoptarlo como el principal objetivo de las políticas nacionales y de la cooperación internacional; a raíz de ello, se desarrolló la conocida Cumbre de la Tierra, realizada en Río de Janeiro, Brasil en 1992 a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD, 1987).

La sustentabilidad se define como la satisfacción de las necesidades de generaciones presentes, sin comprometer las satisfacciones de las necesidades de las generaciones futuras, para lograr una nueva configuración en las tres dimensiones centrales del desarrollo sustentable: la económica, la social y la ambiental; esta reflexión contrasta con el modelo dominante de desarrollo globalizador actual, ya que reconoce que el avance social, en el esquema tradicional de desarrollo, tiene un costo muy alto debido a los pasivos ambientales que el modelo dominante está produciendo (Sánchez, 2019).

La sustentabilidad debe definirse localmente, prestando atención a la diversidad sociocultural y ambiental, en virtud de que se trata de un concepto complejo y multidimensional que implica entender la interrelación entre aspectos ambientales,

económicos y sociales; por lo anterior, no tiene sentido hablar de sustentabilidad ambiental o sustentabilidad económica, sino de la sustentabilidad de los socioecosistemas en su conjunto (Altieri, 2002).

2.3.1 Indicadores de Sustentabilidad

De la misma manera que la política de gestión de los recursos naturales, la acuicultura ha pasado de un enfoque sectorial a un enfoque de gestión integrada del territorio, que tiene en cuenta todas las actividades y usos del litoral y de las zonas costeras con vistas a una mejor y mayor integración del sector; este concepto de gestión tiene por objeto equilibrar los pilares del desarrollo sostenible mediante un proceso de co-construcción, teniendo en cuenta las visiones y los intereses de todos los actores implicados (FOESA, 2010).

La sostenibilidad es sinónimo de conocimiento y optimización de las interacciones que la actividad acuícola establece con el medio ambiente en el que se desarrolla, tendiendo al mantenimiento y/o aumento de la biodiversidad; también contempla el desarrollo socioeconómico a través de la creación de empleos, riqueza y desarrollo social y cultural, promoviendo al mismo tiempo una integración armoniosa con el resto de usos que se producen en las zonas litorales y rurales, generando sinergias con estas actividades presentes y futuras y garantizando, en último término, la viabilidad y perdurabilidad de la acuicultura a lo largo del tiempo (FOESA, 2010).

La acuicultura requiere un mejor conocimiento de la dinámica que regula las tres dimensiones y sus interacciones; la investigación y la aplicación de tecnologías innovadoras o mejoradas pueden contribuir a un mejor equilibrio entre los tres pilares, al igual que la definición y la aplicación de indicadores de sostenibilidad que permitan a los actores interesados pulsar, de una manera sencilla y atemporal, la situación de la acuicultura desde el punto de vista de la sostenibilidad (FOESA, 2010).

La definición de indicadores de sostenibilidad se ha convertido en nuestros días en una necesidad con vistas a lograr el desarrollo sostenible; en esta línea, los acuicultores y empresarios son los primeros interesados en promover un desarrollo sostenible de su actividad, entendiendo que la calidad final de sus productos se sustenta, en gran medida

en la propia sostenibilidad de su actividad y en la adecuada valoración de las interacciones existentes entre la acuicultura y el medio ambiente y los aspectos sociales y económicos (FOESA, 2010).

Los indicadores pueden ser definidos como variables que brindan información sobre la condición y/o tendencia de un atributo considerado como relevante en el sistema, dan información para el proceso en la toma de decisiones y son elegidos para describir la evolución de un sistema de interés y/o para determinar su comportamiento en relación con metas u objetivos; estos son la representación operativa de los atributos (Gallopín, 1996).

La fuerza de los indicadores reside en el hecho de que dan cuenta de la situación (estado) o de la evolución de una variable y constituyen clásicamente una herramienta de medida; por lo tanto, son herramientas que proporcionan una información sintética sobre una realidad compleja como la que nos rodea, además, el indicador es una herramienta que puede utilizarse en cualquier momento como medio de comunicación, debe ser elaborado de tal modo que pueda ser comprensible para todos los actores interesados, fácilmente medible, accesible a nivel financiero y suficientemente sensible a los cambios para detectar todo desvío de gestión del sector acuícola en su conjunto frente a las referencias elegidas de valoración del desarrollo sostenible; constituye un punto de referencia cuyos umbrales determinan de manera sintética las situaciones juzgadas positivas o negativas (FOESA, 2010).

Los indicadores permiten monitorear el progreso para así de manera efectiva emplear los conceptos de sustentabilidad, su buen diseño puede resumir o simplificar información relevante; hacer perceptible el fenómeno de interés, además de cuantificar, medir y comunicar información importante (Gallopín, 1997).

2.3.2 El concepto de sustentabilidad en el tiempo

El término sustentabilidad sufrió diferentes transformaciones a lo largo del tiempo hasta llegar al concepto moderno basado en el desarrollo de los sistemas socioecológicos para lograr una nueva configuración en las tres dimensiones centrales del desarrollo sustentable: la económica, la social y la ambiental (Calvente, 2007).

Desde la década de 1960, distintos foros internacionales, se han ocupado de estudiar temas, planteando los problemas ecológicos derivados del medio de desarrollo económico en el que estamos inmersos con la intención de integrar las necesidades del medio ambiente con dicho modelo de crecimiento; se concibe la sustentabilidad como un proceso de cambio guiado por visiones alternativas, permeado por conceptos, propuestas y desafíos en constante y profundo debate, y puesto en marcha por actores con diversos puntos de vista, con frecuencia en conflicto; concepto que da una compleja articulación de las escalas global, nacional, regional (macro y micro) y local (Larrouyet, 2015).

Para la humanidad, uno de los temas relevantes en el desarrollo de la sociedad en sus diferentes determinaciones ambientales, económicas y sociales, sigue siendo la sustentabilidad, tema de gran importancia ya que implica la administración y manejo eficiente y racional de todos los recursos, de tal manera que sea posible mejorar el bienestar de la sociedad actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras; por lo tanto, uno de los principales retos que enfrenta México en materia de desarrollo sustentable es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social (Tejeda, 2015).

2.3.3 La transversalidad de la sustentabilidad

La sustentabilidad es un concepto integrador valioso, por cuanto se adapta a cualquier lugar geográfico que se esté analizando, se adecúa a los diferentes objetivos que se estén considerando, tiene en cuenta las presentes y futuras generaciones, pero sobre todo retoma la necesidad nuevamente de concebir al hombre como parte integrante de la biosfera; la clave de la sustentabilidad está en la transversalidad, es decir, en los desarrollos comunes entre los subsistemas considerados que constituyen el progreso de un lugar y/o territorio específico, regulando el avance del hombre con su entorno y estableciendo una relación armoniosa entre lo económico, lo social, lo ambiental, lo cultural y/o el sistema de valores (Zarta, 2018).

Es por ello, que la sustentabilidad tiene que entenderse como una disciplina articulada del conocimiento y como una nueva manera de repensar la relación de los hombres con la naturaleza, a partir de la integralidad de las dimensiones económicas, sociales,

ambientales y de valores, que conlleve a una revolución global de supervivencia con el planeta (Ornelas-Luna *et al.*, 2017).

2.4 La acuicultura sustentable

La FAO señala que, la acuicultura desempeña una importante función, que seguirá teniendo el aumento de la producción mundial de pescado y la satisfacción del incremento de la demanda de productos pesqueros; el fomento de la acuicultura sostenible exige crear y mantener ambientes favorables, en particular los dirigidos a asegurar el desarrollo y fortalecimiento constantes de las capacidades de los recursos humanos (FAO, 2018).

Dentro de los recursos acuáticos vivos, se nota una marcada disminución y deterioro, acentuado especialmente en las poblaciones de peces, dado que los factores como las acciones antrópicas, contaminación, barreras o cambios en los cursos de agua y también por otro factor humano, como es el manejo indiscriminado o no sustentable de los recursos pesqueros que inciden sobre ellas (Luchini & Panné, 2008).

La desordenada y creciente población en el mundo, pone en peligro la seguridad alimentaria de un gran número de personas; esta situación ha estimulado el desarrollo de métodos de producción de alimentos a gran escala que no afectan negativa e irreversiblemente al medio ambiente y, al mismo tiempo, garantizan la seguridad alimentaria de las generaciones futuras, destacando la acuicultura como una alternativa viable para garantizar una producción masiva de alimentos de alta calidad y bajo precio (Greaves, 2015).

La acuicultura necesita ser rentable, desde el punto de vista del desarrollo económico local o regional, de la generación de divisas por medio de exportación, e inclusive, desde la estrategia de seguridad alimentaria y alivio de la pobreza; sin embargo, es necesario alcanzar la sustentabilidad tomando en consideración las limitaciones biológicas de cada sistema de producción, el uso integrado de los recursos, la preservación y, hasta, asimismo, la restauración de la calidad ambiental, además de otros aspectos (Kubitza, 2010).

La sustentabilidad en la acuicultura tiene como objetivo, articular los activos económicos, ambientales y sociales con el conocimiento, la tecnología, los esfuerzos institucionales y un marco jurídico normativo, promoviendo su desarrollo de forma integrada, ordenada e incluyente, propiciando un sector acuícola moderno, incluyente y competitivo, que aprovecha de manera sustentable y eficiente sus recursos, bienes y servicios, ofrece oportunidades de empleo permanente y bien remunerado (Magallón & Villareal, 2007).

Buschmann *et al.* (2013), señalan que, el desarrollo de la acuicultura en el mundo está creciendo sostenidamente como alternativa al uso de recursos pesqueros que son cada vez más escasos; con el fin de alcanzar los requerimientos pesqueros mundiales, el desarrollo de la acuicultura está realizando esfuerzos tecnológicos y productivos para expandirse hacia zonas geográficas climáticamente más extremas e incluso en condiciones de mar abierto; por otro lado, la acuicultura está bajo estricto escrutinio público con el fin de compatibilizar el desarrollo económico/social con la conservación del patrimonio ambiental.

El desarrollo de la producción, extensiva e intensiva, proviene mayormente de países subdesarrollados o en vías de desarrollo, donde los marcos regulatorios son débiles o las políticas están centradas sólo en aumentar la producción; este contexto ha creado diversos problemas ambientales, tales como la destrucción de hábitat natural o contaminación; en conjunto, estas externalidades negativas amenazan la sustentabilidad y la productividad de la acuicultura en el futuro (Broitman *et al.*, 2017).

Del total de la producción de organismos acuáticos provenientes tanto de la pesca como de la acuicultura, aproximadamente 70% son utilizados para consumo humano, mientras que el resto se emplea en la elaboración de alimentos para otros animales (avicultura, ganadería, acuicultura, animales domésticos), fertilizantes, cosméticos, medicinas, etc.; un asunto muy importante para considerar, pensando en la sustentabilidad, es la necesidad de buscar fuentes alternativas de proteína para la elaboración de alimentos para acuicultura y otros organismos animales (Martínez-Córdova *et al.*, 2009).

Es importante desarrollar en México una autonomía productiva en la pesca y la acuicultura, generar empleos directos y colaterales, así como producir el máximo

beneficio económico y social, con la mayor justicia y equilibrio entre sus diversos actores (Guzmán y Fuentes, 2006).

Nuestro país, es uno de los principales importadores de productos de origen pesquero y acuícola de alta calidad. El patrón de desarrollo de la acuicultura que México siguió en el periodo de 1970 a 2000, fue diseñado para ser aplicado con tintes políticos y no biotecnológicos o económicos; de allí que los instrumentos de investigación biológico pesqueros que le den sustentabilidad a la producción no se emplean y por lo tanto las producciones y diversificación de cultivos se encuentran estancados (Martír, 2006).

Es esencial que las diversas iniciativas para la acuicultura sustentable, en el ámbito nacional y mundial también desarrollen y actualicen permanentemente los códigos de conducta, indicadores de sostenibilidad y sistemas de certificación; de este modo se podrá alcanzar un entendimiento común y aceptado entre todas las partes interesadas sobre la sostenibilidad acuícola y cómo lograrla en la práctica (SustainAqua, 2009). Este mismo organismo, señala sólo algunos ejemplos:

- 1) FAO: Código de Conducta para la Pesca Responsable (1995)
- 2) FEAP: Código de conducta para la acuicultura europea (2000), actualmente en proceso de revisión.
- 3) EVAD: Guía para la construcción de los indicadores de desarrollo sostenible en la acuicultura (2008).
- 4) Acuerdo de la Alianza Mundial de Acuicultura (GAA) para la elaboración y armonización de los sistemas de certificación para el sector de la acuicultura en todo el mundo (2009).

Espinosa y Bermúdez (2012), proponen cinco estrategias para una mayor sustentabilidad de la acuicultura:

1. Evaluar el impacto ambiental causado por la acuicultura, con el objetivo de prevenir y reducir el daño al medio ambiente.
2. Controlar las actividades acuícolas, para asegurar que su impacto se establezca en los límites aceptables.

3. Establecer guías de buenas prácticas.
4. Regular los desechos que son vertidos al ambiente.
5. Vigilar si existe un cambio ecológico.

Por su parte, Compagnucci (2011), suma otras estrategias productivas para el mejoramiento y manejo sostenible de los acuicultivos:

1. Incremento de producción de organismos acuáticos filtradores de plancton: por ejemplo, los moluscos bivalvos (mejillones, ostras, almejas, caracoles de mar, vieyras, etc.).
2. Incremento de producción de peces exclusivamente herbívoros.
3. Utilización de residuos cárnicos producto de faena de ganado vacuno y aviar en mezcla.
4. Con harinas cerealeras.
5. Maximización en la utilización de harinas de origen vegetal.

La planeación actual de la acuicultura no contiene elementos que le aseguren sustentabilidad, debido a que no incluye aspectos de desarrollo económico, social y medio ambiental suficientemente articulados; esto también incluye al financiamiento, el capital de riesgo, así como a la investigación científica y el desarrollo tecnológico (Guzmán & Fuentes, 2006).

Existen diversas herramientas actuales y potenciales para avanzar en la sustentabilidad de esta importante industria alimentaria, entre ellas, las buenas prácticas de manejo, códigos de conducta para la producción de especies acuícolas, ordenamiento costero, mejoramiento genético, alimentos amigables, manejo de la productividad natural, manejo de los efluentes, incluyendo prácticas de biorremediación, sistemas de recirculación y policultivo, entre otros (Martínez-Córdova *et al.*, 2009).

Buschmann (2001), afirma que la acuicultura impacta en el medio ambiente a través tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación en el producto final.

El efecto que generan las malas prácticas acuícolas va degradando el medio ambiente: primero por la utilización del agua que recibe grandes cantidades de desechos, y el alimento no consumido por los peces que sedimenta el fondo en las presas, dañando un espacio que no sólo es utilizado por los peces cultivados sino también por otras especies; segundo, porque se introducen antibióticos y sustancias químicas al ecosistema, necesarias para la realización de la actividad, además la introducción de alevines de diferentes entidades de México, que aumenta la probabilidad de expansión de enfermedades en el medio, entre otros impactos; finalmente se genera una enorme cantidad de desechos en el proceso de evisceración del producto que muchas veces es arrojado al agua (Ovando, 2013).

2.4.1 Sustentabilidad acuícola

Debido a su alto valor nutritivo, la demanda de pescado ha aumentado; las prácticas inadecuadas en la pesca, la extracción indiscriminada de peces u organismos acuáticos del medio natural podrían provocar una crisis en las reservas de productos pesqueros comerciales hacia el año 2050; tan sólo en 2014, en el mundo, se extrajeron 93.4 millones de toneladas de peces y México aportó 1.7%; desafortunadamente, la mayor parte de las poblaciones silvestres, objetivo de la pesca comercial, es explotada a su rendimiento máximo sostenible (Rangel *et al.*, 2017).

Buschmann (2001), señala que las actividades humanas producen cambios en los ecosistemas, los que, muchas veces, generan efectos adversos en el medio ambiente; en ese contexto la acuicultura, al igual que otras actividades económicas, usa y transforma los recursos en productos con un valor económico y social, al hacerlo produce desechos que, a su vez, requieren de otros servicios ambientales para ser asimilados o reciclados; por lo tanto, el impacto sobre el medio ambiente emerge de estos tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación de productos, comprometiendo la sustentabilidad de la acuicultura misma.

Para Kubitzka (2010), el camino a seguir para alcanzar la sustentabilidad, debe tener en consideración las limitaciones biológicas de cada sistema de producción, el uso integrado de los recursos, la preservación y hasta, la restauración de la calidad ambiental, además

de otros aspectos. Kubitza (2010), identifica algunas de las tendencias de los emprendimientos acuícolas rumbo a la sustentabilidad y son:

- Observación y respeto por los límites de producción.
- Aprovechamiento eficiente de la productividad primaria (fitoplancton) y detritus orgánico, generados por los sistemas de producción.
- Mínimo uso de agua y aporte de efluentes.
- Menor dependencia del uso de energía.
- Uso de raciones de alta calidad basadas en ingredientes vegetales.
- Opción por el cultivo de especies de bajo nivel trófico, eficientes en el aprovechamiento de raciones formuladas.
- Uso de recursos en forma compartida con otras actividades.
- Aumento del número de emprendimientos de menor porte con objetivo de comercio local/regional de pescado.

Las malas prácticas habituales empleadas en la acuicultura impactan de distintas formas en el medio ambiente, una de ellas es la alimentación de los organismos acuáticos cultivados, la que interviene, tanto en la columna de agua como al fondo marino, a través del alimento no consumido que es altamente proteico y a través de los desechos de los peces (Larrouyet, 2015).

Otra mala práctica, muchas veces recurrente, es el empleo de materiales o insumos químicos como antibióticos, fungicidas y compuestos antiparasitarios y su uso excesivo; aunque sus impactos en la salud humana no han sido detectados categóricamente y sus impactos en los ecosistemas marinos varían dependiendo de las condiciones del cultivo, se advierte sobre la incertidumbre de su inocuidad (Buschmann, 2001).

2.4.1.1 Herramientas para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos

MESMIS. Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad, es la generación de un conjunto de materiales para brindar las bases teóricas y metodológicas en torno al concepto de

sustentabilidad y su evaluación, con el objetivo de promover su discusión y puesta en práctica (Altieri, 2002).

Constituye una herramienta innovadora para encarar varios de los interrogantes planteados en el área de evaluaciones de sustentabilidad; sus aportaciones principales se han dado tanto en el ámbito teórico- metodológico como en la estructura del programa de investigación propuesto (Astier *et al.*, 2008).

Modelos en el ámbito regional. El principal marco metodológico de análisis del desarrollo sustentable regional consiste en el modelo de presión-estado-respuesta, el cual se basa en el establecimiento de variables que permiten medir hasta qué punto el sistema regional se ha visto afectado por las variables asociadas con la presión sobre el medio ambiente, que generalmente son la población, el desarrollo socioeconómico y el uso de recursos energéticos (Altieri, 2002).

Metodologías integrales. Este marco metodológico intenta integrar los factores biofísicos, económicos y sociales del ambiente, a la vez que las diferentes escalas donde éstos se desempeñan, utilizando medidas de aproximación donde se identifiquen los límites de la sustentabilidad dentro de los sistemas agrícolas (Torres *et al.*, 1999).

2.4.2 Enfoque sustentable del cultivo de tilapia

La acuicultura de tilapia es a menudo desarrollada en sistemas extensivos o en sistemas controlados, los cuales presentan una diversidad de problemas, por lo que es necesario determinar las causas de estos y ofrecer soluciones orientadas al desarrollo sostenible de la actividad, siendo los principales problemas en la mayoría de los cultivos son el reducido crecimiento y mortalidades elevadas, asociados al inadecuado manejo del cultivo; por lo anterior, existe la necesidad de un modelo de cultivo de tilapia en recirculación, con bajo impacto ambiental y una alta productividad, para ello se propone el uso de plantas medicinales y probióticos, como una medida preventiva o correctiva contra patologías y sistemas de módulos de plantas flotantes y la biodigestión de lodos como una alternativa para evitar impactos al ambiente además de generar ganancias adicionales (Ornelas-Luna *et al.*, 2017).

2.4.3 Calidad del agua para acuicultura

La baja calidad del agua en cuerpos acuáticos podría ocasionar riesgos en las especies acuáticas, especialmente en las de tipo endémico, que son menos tolerantes a la presencia de determinados contaminantes; una de las principales causas son el aumento de las descargas de aguas residuales, provocando que los cuerpos receptores de agua, presenten distintos tipos y niveles de contaminación, resultando altos niveles de materia orgánica, sólidos suspendidos y disueltos, nutrimentos, compuestos tóxicos y microorganismos de interés sanitario (Ramírez *et al.*, 2009).

La calidad del agua se determina en su conjunto por sus propiedades físicas, químicas y biológicas y por su interacción con los organismos vivos que lo habitan; en este sentido, con respecto al cultivo de organismos acuáticos, cualquier característica del agua que afecte de un modo u otro el comportamiento, la reproducción, el crecimiento, los rendimientos por unidad de área, la productividad primaria y el manejo de las especies acuáticas, es un variable de calidad de agua (Rodríguez, 2001).

Gutiérrez (2014), menciona que, además de la cantidad de agua para la acuicultura, también se debe considerar su calidad, la cual está determinada por los valores de ciertos parámetros fisicoquímicos; siendo esta, un punto crítico en el proceso de producción, por lo tanto, debe ser controlada y mantenida dentro de los rangos aceptables para el buen desarrollo de los organismos; por ello es necesario considerar que la composición química del agua está en función de su origen, como las aguas superficiales (arroyos, embalses, ríos y lagos), difieren de las subterráneas (pozos artesianos) y se debe evitar que nuestra fuente de agua esté libre de algún tipo de contaminante como materia orgánica, hidrocarburos, metales pesados, entre otros.

La calidad de agua en los sistemas de cultivo favorece una mayor remuneración al productor, sin embargo, una mala calidad representa un riesgo de gran importancia para la salud de los organismos que se cultivan, así como en las personas que lo consumen; los problemas actuales de contaminación que se presentan en aguas continentales pueden afectar a los organismos con alteraciones genéticas, susceptibilidad a enfermedades, bioconcentración de plaguicidas y metales pesados (Bautista & Ruíz, 2011).

Las diferentes variables que intervienen en un sistema acuático, como son las relaciones tróficas establecidas, capacidad de reciclaje de los nutrientes, autoproducción y autodepuración de estos y los parámetros fisicoquímicos del agua determinan la cantidad y calidad de los organismos que viven ahí; toda especie acuática tiene un rango óptimo para desarrollarse normalmente, el cual está básicamente dado por la temperatura, oxígeno, tipo y cantidad de nutrientes sólidos disueltos, salinidad, pH, dureza, alcalinidad, entre otros (Rodríguez & Anzola, 2016).

Los parámetros fisicoquímicos de mayor importancia para la calidad del agua en acuicultura son: pH, temperatura, salinidad, alcalinidad, gases disueltos y los contaminantes agroindustriales, mientras que el factor biológico relevante para la producción en el estanque es el plancton, formado por vegetales y animales de tamaño microscópico; la calidad del agua afecta la abundancia, composición y diversidad de los organismos que en ella habitan, incluyendo su condición fisiológica y productiva, por lo tanto, resulta necesario conocer la naturaleza y la salud de las comunidades acuáticas como parte de la calidad del agua (Macswiney *et. al.*, 2015).

Tabla 2.

Niveles de oxígeno disuelto mínimo requerido para el cultivo

Temperatura del agua	Oxígeno Disuelto (mg/l)	
	°C	Valor de Saturación
5	12.8	9.1
10	11.3	8.8
15	10.2	8.3
20	9.2	7.8
25	8.2	7.4
30	7.5	6.9

Nota: Datos obtenidos de Macswiney (2015). *Fuente:* Elaboración propia.

2.4.3.1 Parámetros físicos

Rodríguez y Anzola (2016), identifican y describen los siguientes parámetros físicos:

- **Temperatura.** La temperatura rige algunos parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como la evaporación y la solubilidad de los gases.
- **Salinidad.** En aguas continentales la salinidad corresponde a la concentración de todos los iones disueltos en el agua. Cuando la composición relativa de las sales es más o menos constante, la concentración total puede ser estimada de acuerdo con la concentración del ion dominante.
- **Luz.** Cuando la intensidad de la luz es muy alta se presenta una marcada disminución de la actividad de la fotosíntesis, aparentemente debido a que la radiación ultravioleta afecta los cloroplastos.
- **Evaporación.** La evaporación es una acción que aumenta la concentración de sales y actúa como regulador de la temperatura del agua y además con la filtración son los causantes de la disminución del volumen de agua de un estanque.
- **Turbidez.** La turbidez del agua está dada por el material en suspensión bien sea mineral u orgánica y el grado de turbidez varía dependiendo de la naturaleza, tamaño y cantidad de partículas en suspensión.
- **Color.** El color del agua está dado por la interacción entre la incidencia de la luz y la impureza del agua, las aguas incoloras en días soleados aparecen azules.

2.4.3.2 Parámetros químicos

Rodríguez y Anzola (2016), identifican y describen los siguientes parámetros químicos:

- **Oxígeno disuelto.** El nivel de oxígeno disuelto (OD) presente en un estanque de acuicultura es el parámetro más importante en la calidad del agua. Si no hay una buena concentración de oxígeno disuelto los organismos pueden ser vulnerables a enfermedades, parásitos, o morir por falta de este elemento.
- **pH.** Esta variable permite conocer el grado de acidez o alcalinidad del agua. Su valor varía de 0 a 14, con un punto medio o neutro fijado en 7, que determina de igual forma que todos los valores situados por debajo son ácidos y todos los registros por encima, básicos o alcalinos. Los valores extremos de pH condicionan el crecimiento del plancton y pueden matar a los peces cuando se sitúan por debajo de 4.5 o por encima de 10.

2.4.3.3 Batimetrías en acuicultura

El Centro de Investigaciones Medioambientales (CIMA), menciona que la batimetría o modelo batimétrico, es la fuente esencial de información para el conocimiento del medio marino; este resulta ser una pieza clave al iniciar un proyecto de cualquier obra en cuerpos de agua, ya que nos permite obtener una representación detallada del fondo marino, entendiendo la morfología de la zona, base para realizar el diseño de una construcción en el lugar (CIMA, 2019).

Además de obtener información sobre la profundidad de cada uno de los puntos medidos, el análisis completo de la batimetría de una determinada zona de estudio permite obtener información muy detallada sobre la forma y estructura del lecho marino sobre cómo es su estructura geológica y geomorfológica, información esencial para el análisis cartográfico, toda vez que esta, es la base para la realización de numerosos análisis que pueden realizarse a posteriori y para la extracción de numerosa información sobre el medio marino (Campillos, 2017).

La batimetría es necesaria para conocer las profundidades y el relieve bajo todo tipo de masa de agua, de manera que su importancia radica en el levantamiento del relieve de las superficies subacuáticas, también llamado relevamiento la cual permite plantear diferentes soluciones a un problema, que facilitan la toma de decisiones (Gray, 2012).

Hace algunos años que se vienen realizando análisis y diagnósticos del sector de la acuicultura a escala nacional, mediante los cuales se han identificado las principales debilidades que afectan a esta actividad productiva. La batimetría, como se ha mencionado anteriormente, entre sus funciones principales brindar información sobre la profundidad de un cuerpo de agua, por medio de un sondeo. La profundidad de las instalaciones en sistemas flotantes es un dato que varía dependiendo de la especie y del método de cultivo. De ahí la importancia de realizar la batimetría para iniciar un proyecto de acuicultura, debido a que nos aporta información sobre el medio acuático donde se ubicarán esos cultivos y los espacios idóneos con posibilidades de uso acuícola, asimismo obtener un sistema ordenado y enfocado a un desarrollo sostenible en los diferentes cultivos marinos.

2.4.3.4 Metales pesados en acuicultura

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas; como ejemplo de metales pesados o algunos metaloides se incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Méndez *et al.*, 2009).

La peligrosidad de los metales pesados, radica en que estos tienden a bioacumularse en diferentes cultivos, esto significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente; en un pequeño grado se pueden incorporar a organismos vivos (plantas y animales) por vía del alimento y lo pueden hacer a través del agua y el aire como medios de translocación y dependiendo de su movilidad en dichos medios (Méndez *et al.*, 2009).

La incineración de residuos genera gran cantidad de metales tóxicos que causan graves problemas ambientales en el aire, el suelo y el agua; Rodríguez (2017), muestra las fuentes de emisión de algunos metales pesados:

- **Mercurio.** Actividades mineras de extracción de oro, plata y cobre, fundición primaria y secundaria de metales, producción de carbón y coque, combustión de combustible y carbón en la generación de electricidad, industria de cloro-sosa, incineración de residuos peligrosos y biológicos infecciosos.
- **Plomo.** Fundición primaria y secundaria de metales, loza vidriada, producción de pinturas, elaboración de latas soldadas con plomo, industria electrónica y de cómputo, uso de gasolina con plomo, baterías e incineración de residuos.
- **Cadmio.** Baterías recargables de Ni/Cd, incineradoras municipales, fertilizantes fosfatados, detergentes y productos de petróleo refinados, pigmentos y estabilizadores en plástico y PVC (cloruro de polivinilo), pigmentos en pinturas, galvanización, catalizadores y conservadores en la industria del plástico, elaboración de pinturas, aleaciones, refinación del zinc. Fuentes naturales como minerales, actividades volcánicas e incendios forestales, además de la combustión del carbón, la madera y el petróleo.

- **Cromo.** Efluentes industriales descargados por industrias químicas, de construcción de maquinarias e instrumentos, de radioelectrónica y otras.
- **Cobre.** Tuberías de cobre y minería del cobre.
- **Manganeso.** Las fuentes antropogénicas del Mn incluyen las plantas de producción de cemento, plantas de energía, incineración de residuos sólidos urbanos y la combustión de combustibles fósiles.
- **Níquel.** Minería de metales ferrosos, extracción de minerales, aleaciones y aceros. Efluentes líquidos de procesos de recubrimiento. Baterías de Ni/Cd (Rodríguez, 2017).

Los metales están entre los contaminantes ambientales de mayor preocupación en el ambiente acuático; las fuentes antropogénicas aportan más metales al medio ambiente que las naturales, en proporciones que van del 60 al 95%, siendo las actividades que más aportan la minería, la industria manufacturera, y la agricultura, cuyos residuos, junto con los efluentes municipales, pueden llegar a la zona costera debido al transporte atmosférico y a la escorrentía (Frías-Espéricueta *et al.*, 2011).

La contaminación con metales pesados en la acuicultura afecta en forma directa y negativa a la productividad ya que muchas de las especies cultivadas son particularmente sensibles; esta sensibilidad (utilizada como indicadora de contaminación ambiental) genera problemas debidos a intoxicaciones agudas o crónicas no siempre fáciles de identificar o de manejar (Varsavsky & Fernández , 2021).

Las enfermedades que pueden provocar dependen del contaminante y de la forma en que se toma contacto con la contaminación de ingestión, inhalación o por la piel y de la cantidad de sustancias tóxicas a que nos exponemos; entre las enfermedades que se pueden desarrollar por consumir alimentos del mar o agua de mar contaminada se encuentran: cólera, salmonela, tífus, hepatitis, cáncer de estómago y cáncer de páncreas (Senior, 2016).

En el consumo de productos de la acuicultura, los aspectos de salud pública se enfocan fundamentalmente a evitar la presencia de peligros biológicos (parásitos, bacterias, virus) y químicos (metales pesados, plaguicidas y biotoxinas); estos últimos al llegar al medio

acuático se fijan en los sedimentos los cuales actúan como integradores y concentradores de metales y luego dependiendo de la forma física y química de los mismos pueden movilizarse y ser transportados a través de las membranas biológicas de las diferentes especies marinas, pueden ser liberados a la columna de agua debido a cambios en las condiciones ambientales tales como el pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Ramírez *et al.*, 2008).

Senior (2016), señala que los metales pesados y compuestos orgánicos sintéticos son absorbidos por los organismos marinos mediante la cadena alimenticia, una gran cantidad de productos químicos se acumulan en los peces depredadores; dichos productos pueden causar lesiones y tumores en los peces y acumularse en los humanos que ingieren el pescado; pudiéndose acumular elevados niveles de compuestos orgánicos sintéticos en los mamíferos marinos que se alimentan en aguas contaminadas y se sospecha que dichos compuestos reducen la resistencia de los animales a las enfermedades; entre los efectos que las altas concentraciones de metales pesados producen se pueden citar:

- Reducción de la diversidad del sistema.
- Bioacumulación de metales pesados en los tejidos de los organismos marinos a lo largo de la cadena trófica hasta llegar al hombre.
- Mutaciones en las poblaciones que va en detrimento de la viabilidad genética y de la calidad del producto.
- Patologías en peces benthicos y pelágicos: lesiones en el hígado, erosión de las aletas.

2.5 Organización social para la acuicultura

Una organización es una asociación de personas que se relacionan entre sí y utilizan recursos de diversa índole con el fin de lograr determinados objetivos o metas; se constituye como una estructura ordenada donde coexisten e interactúan personas con diversos roles, responsabilidades o cargos que buscan alcanzar un objetivo particular (Roldán, 2020). Hay sin embargo ciertas constantes en la organización acuícola que conviene tener presentes:

- Todas se orientan, de una manera u otra, a lograr una intervención eficaz del hombre sobre organismos vivos que tienen como medio de vida el agua y
- Se relacionan principalmente con la producción de alimentos y con su manipulación.

Puede explicarse entonces que el grupo de personas que constituye la organización acuícola es singular: comprende y domina la vida acuática y es capaz de manipularla; existe una barrera de acceso a la acuicultura como actividad productiva que no depende del monto de los recursos disponibles, del mercado que puedan tener los productos, de la infraestructura zonal o de otros factores igualmente importantes; por lo tanto se considera como barrera operacional, donde sólo el experto sabe hasta qué punto puede controlar los factores biológicos y ambientales para lograr resultados de producción, como sólo el médico sabe hasta qué punto puede actuar para conservar la salud (FAO, 1994).

La necesaria integración social del conocimiento es clave y está contenida en los cambios y el reperfilamiento económico en la diagramática articulación de los problemas, en la compleja red de apuestas a la actividad y la siempre alta posibilidad de los siniestros climáticos; los presupuestos ocultos derivados de las nociones de organización social, las formas de producir conocimiento, las instancias para apoyar aplicaciones del conocimiento en fases de crisis, es posible que se manifiesten en tres escalas específicas: la problemática social, la disciplina y la relación con la tierra y el agua (Leyva & Baez, 2014).

Las organizaciones acuícolas por ser prácticamente de reciente creación han sido poco estudiadas y requieren que se realice un mayor número de investigaciones que provean de información sobre su funcionamiento, el tipo de sujetos que las forman, la identidad social de sus miembros y su mecanismo de comunicación e integración, que les permita conocerse y estar preparadas para enfrentar con éxito los retos que se les presenten, así como también los beneficios que pueden obtener (Castro-Almeida, 2008).

2.5.1 Invisibilización del trabajo femenino rural

La situación de las mujeres rurales en el empleo es el resultado de un conjunto de condicionantes, provenientes de diversas esferas de la sociedad tales como las políticas macroeconómicas, la legislación laboral existente en cada país, las instituciones, los atributos personales de la población rural, las distancias, entre otras, las que a su vez están cruzados por las relaciones de género (Ballara & Parada, 2009).

Datos actuales del Instituto de la Mujer (INMUJER), señalan que, en 2019, las mujeres rurales constituían una cuarta parte de la población mundial; que, en México, de los 61.5 millones de mujeres, 23% habitan en localidades rurales y también representan 34% de la fuerza laboral, por lo que esta población es responsable de más del 50% de la producción de alimentos; sin embargo, es una realidad que las mujeres y niñas rurales enfrentan particularidades y mayores obstáculos para ejercer sus derechos, esto significa que las vidas de poco más de 10 millones de mujeres están determinadas por un territorio, condicionamientos culturales y redes de dependencia de producción y supervivencia radicalmente diferentes a las mujeres que viven en zonas urbanas (INMUJER, 2019).

En comparación con las zonas urbanas, el espacio rural ofrece empleos menos estables y una actividad económica menos diversificada y de escaso dinamismo, lo que, sumado a un menor nivel educativo, restricciones culturales y perfiles actitudinales desfavorables al trabajo extradoméstico, desincentiva la empleabilidad femenina; además, la discriminación y la brecha de género observada en el campo define empleos más precarios y de menor salario para la mujer, con tendencia del empleador a privilegiar la contratación masculina debido a que su fuerza de trabajo resulta menos onerosa (Rodríguez & Valenzuela, 2019).

Una de las principales razones de desigualdad social la genera la división entre zonas urbanas y rurales de una región, debido a que tiene un gran poder de decisión y reproducción en distintos escenarios del desarrollo social; asimismo, al añadirse a la dimensión de género, ocasiona situaciones de discriminación y exclusión (Bedoya & Velásquez, 2020).

La invisibilidad del trabajo femenino, la ambigüedad con que se deslinda el trabajo productivo del reproductivo. Esta ambigüedad funciona mediante la adscripción social de género a distintos proyectos vitales para hombres y para mujeres. A ellos se les adscribe la dirección y sostenimiento económico de la familia, es decir, sus proyectos vitales son anteriores a la familia, mientras que a ellas se las adscribe la producción de la familia y por tanto sus proyectos vitales están circunscritos al propio devenir familiar (Camarero *et al.*, 2006).

La mujer en el campo siempre ha desempeñado trabajo productivo no remunerado como parte de su papel de género tradicional, sino por otros elementos asociados al trabajo remunerado, tales como el mejoramiento de la autoestima, la mayor libertad personal y la incorporación a situaciones de autonomía económica y a nuevos circuitos de relaciones sociales, que afectan de forma directa las dinámicas familiares (Fawaz & Soto, 2012).

La participación laboral femenina, en algunos estudios ha sido una dimensión destacada en el análisis de los procesos de reconversión productiva de los sectores agroindustriales de América Latina; estos estudios, muestran la importancia de las mujeres en puestos de trabajo que son críticos para el proceso productivo, puestos que, requieren destrezas que se asocian con el proceso de socialización normativo y no con conocimientos adquiridos en las experiencias laboral (Mingo, 2014).

La mujer rural, históricamente está ligada a la producción de alimentos y la agricultura, desempeñando roles productivos y reproductivos en forma simultánea, ambos necesarios para la explotación de la unidad productiva campesina; no obstante, lo anterior, en la medida que este trabajo se desarrollaba dentro del hogar y del predio familiar, y al no recibir remuneración económica, fue invisibilizado; de tal manera que, la progresiva participación femenina en el mercado de trabajo y la generación de ingresos propios ha contribuido sistemáticamente a la integración activa de nuevas prácticas, definiciones, rasgos e ideas que hacen operar de manera simultánea la valoración individual y la creación de espacios propios (Fawaz & Soto, 2012).

En el caso del trabajo de la mujer rural, éste no se limita a la casa: sale a las labores del campo y al comercio de sus productos agrícolas, acuícolas o artesanales, a veces como

única proveedora del hogar ante la ausencia física o moral del marido, tal situación la deja como la jefa de familia y en condición de evidente desventaja (Vázquez, 2014).

En 2007, 37 millones de mujeres rurales tenían más de 15 años; de ellas, 17 millones formaban parte de la población económicamente activa y unos 4 millones y medio eran productoras agropecuarias; la mayoría del resto (unos 16 millones de mujeres) forma parte de las familias de los agricultores y contribuyen siempre a la producción agrícola, aun cuando son invisibles para las estadísticas oficiales (Ballara & Parada, 2009).

En la actualidad se estima que, de los 200 millones de personas en el mundo con empleos directos en la pesca y la acuicultura, 50% son mujeres; sin embargo, la pesca artesanal y los trabajos en la cadena de suministro, al margen de la producción, no se registran correctamente, por lo que el número real de mujeres podría ser mayor; el trabajo de las mujeres, por ejemplo: en el marisqueo, el buceo, la elaboración poscaptura y la venta, no se reconoce o no se registra debidamente, pese a su contribución económica y estratégica al desarrollo del sector, evidenciando que, en las políticas se presta poca atención a las mujeres y a la dimensión de género (FAO, 2016).

La mujer ha ido avanzando en los espacios de la acuicultura y la pesca de pequeña escala; principalmente se dedica al cultivo de especies para alimentación, a la producción de peces de ornato y de algas marinas, y de los subproductos obtenidos hace artesanías como aretes, collares de escamas, cinturones de piel de pescado, etcétera; sin embargo, ante el insuficiente apoyo gubernamental, la mayoría de la producción es para consumo a nivel local; las mujeres se integran a esta actividad desde la infancia hasta adultas mayores, porque la crianza de peces es una labor relativamente sencilla y rápida; además la granja acuícola se considera parte del patrimonio familiar (Vázquez, 2014).

A medida que se mejora la comunicación y se formulan políticas encaminadas a aumentar las capacidades de toma de decisiones de las mujeres en el sector; la mejora de las estadísticas de los operadores tanto industriales como en pequeña escala, junto con los datos sobre el sector secundario de la poscaptura y el de servicios, aumentarían en gran medida la comprensión de la importancia de la contribución de las mujeres a la pesca y la acuicultura, la seguridad alimentaria y los medios de vida (Vázquez, 2014).

La mujer rural juega un papel importante dentro de la economía de un país, tanto desde su participación en el mercado laboral como su contribución en la productividad, los cuales logran impulsar el crecimiento económico y aumentan el PIB; aunque la participación de la mujer rural en el mercado laboral se ve limitada por las horas dedicadas a trabajos domésticos y al cuidado de sus hijos, además por emplear la mayor parte de su cosecha para el autoabasto (Bedoya & Velásquez, 2020).

2.5.2 Participación de mujeres y jóvenes en la acuicultura

En México, como en el mundo, resultan incipientes los datos que permiten ver cuántas mujeres trabajan en la pesca, en qué condiciones y el valor económico que aporta su trabajo; lo anterior, en parte por el carácter informal de su trabajo, y sesgos y procesos deficientes en la captura de información; por ejemplo, no desagregar los datos por género y no considerar la pesca de subsistencia (llevada a cabo principalmente por mujeres), ni la acuicultura familiar, en las estadísticas son dos razones que contribuyen a la falta de visibilización de la mujer en el sector pesquero (Monfort, 2018).

Las mujeres tienen un papel importante al momento de aportar a la economía en las comunidades rurales, incluso en las zonas urbanas, esto es debido al empeño de las mujeres en la realización de diferentes actividades. La mujer ha ido avanzando en los espacios de acuicultura, realizan diversas actividades para el manejo y crecimiento del sector productivo, un ejemplo de ello es la involucración que tienen en el cultivo de especie para alimentación. Esta actividad no solo lo realizan con el fin de comercialización del producto, también es para el autoabasto, lo cual beneficia directamente a la economía del hogar, siendo una estrategia importante para disminuir la pobreza en las comunidades (FAO, 2017).

Al igual que en los otros sistemas productivos, la participación de los jóvenes en el sector acuícola es importante, para la obtención de grandes beneficios en los diferentes procesos de productividad y comercialización del producto. Esto se puede presentar por la energía y visión que llegan a mostrar los jóvenes, al momento de ser involucrados en las actividades que se realicen en el sistema productivo, impulsando la creatividad, innovación y emprendimiento, que contribuyan como un factor de progreso para la actividad acuícola a nivel mundial (INEGI, 2014).

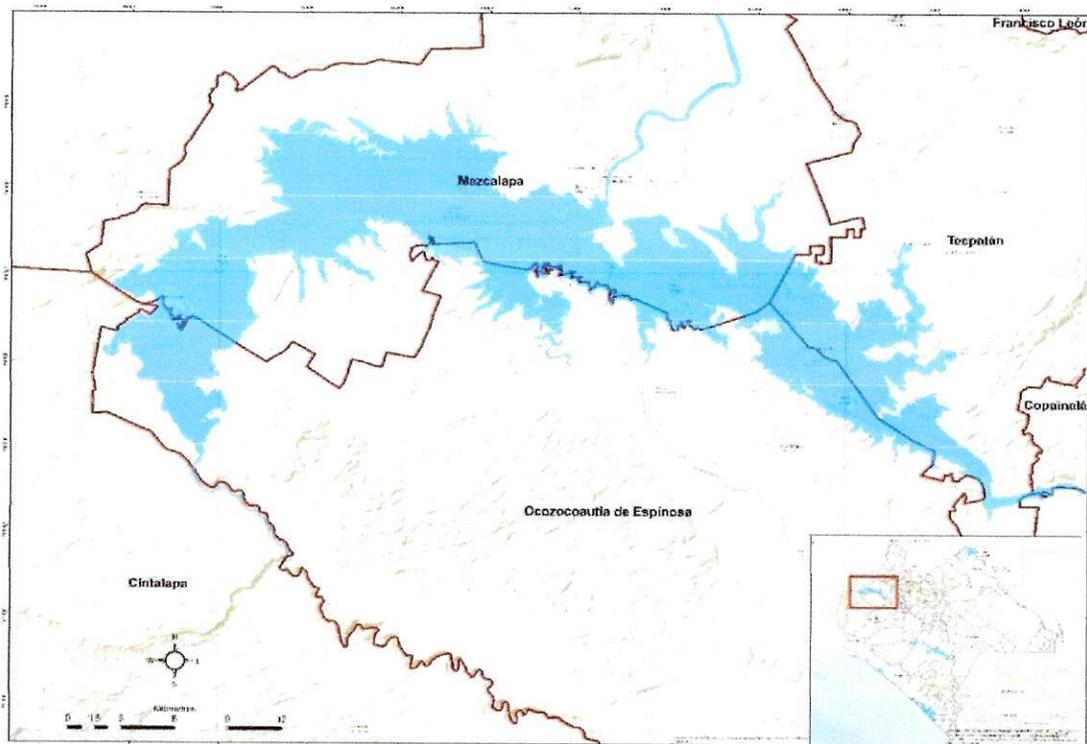
De las actividades económicas incluidas en los censos, la pesca y acuacultura ocupan el último lugar en cuanto a nivel de participación de la mujer; a nivel nacional había 188,566 personas ocupadas en la pesca y acuacultura de las cuales 90% (172,538) se encuentran en los 17 estados costeros; además, las mujeres son conscientes sobre la importancia de producir de manera sustentable, cuidar el medio ambiente y los recursos que se generan. (INEGI, 2014).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en la Central Hidroeléctrica Netzahualcóyotl (Presa Malpaso) la cual se encuentra ubicada en los municipios de Mezcalapa, Ocozocoautla de Espinosa y Tecpatán, en el noroeste del estado de Chiapas, dentro de las coordenadas geográficas extremas 17° 13' 10.20" latitud Norte y 93° 51' 53.44" de longitud Oeste y 17° 01' 57.67" de latitud Norte y 93° 23' 33.67" de longitud Oeste (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio - Presa Malpaso



Fuente: Elaboración propia a partir de la Información Geográfica del CEIEG

La Central Hidroeléctrica se encuentra en la depresión central del estado, a 40 kilómetros al oriente del punto que concurren los límites de los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas; su clima corresponde a cálido-húmedo, con una precipitación anual de 2,300 milímetros centrados en nueve meses del año; registrándose las precipitaciones máximas en los meses de septiembre y octubre en que se han llegado a observar lluvias de más de 150 milímetros; la temperatura media anual es de 26 °C, con máxima de 42

°C. La hidrografía la conforman los ríos: La Venta, Cacahuano, Cedro, Francia, Achiote y el río subterráneo El Encanto; los arroyos de caudal permanente Ojo de Agua, Las Flores, Los plátanos, Ocuilapa, Santa Martha, Las Camelias y Apic-pac. (ATT Inova, 2015)

La Central Hidroeléctrica Nezahualcóyotl, conocida como Presa Malpaso, creada entre 1958 y 1966, fue la primera y más importante de las presas que integran el conjunto de embalses desarrollados en la cuenca del río Grijalva para el desarrollo hidroeléctrico del País; cuenta con una superficie máxima de espejo de agua de 29,615 Ha, mínima de 15,750 Ha y un valor promedio de 25,120 Ha. Tiene una longitud de 160 km una anchura máxima de 75 km, y un área de 11,000 km² aproximadamente (CONAPESCA, 2015).

Malpaso alberga aproximadamente 150 unidades de producción acuícola, de las cuales 76 unidades de producción con 335 beneficiarios, son atendidas por el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas A.C. (CESACH, 2022)

3.2 Metodología

A continuación, se presenta el proceso metodológico empleado para dar respuesta a cada uno de los cuatro objetivos planteados en el desarrollo de la investigación.

3.2.1 Tipología del sistema de producción

Para realizar la caracterización de los productores acuícolas de tilapia que emplean como sistema productivo el de jaulas flotantes, se elaboró un instrumento para la obtención de la información, la cédula de encuesta o entrevista semi-estructurada (Anexo 3). Una vez diseñado, este instrumento metodológico fue la base de una prueba piloto para la realización en campo, aplicada a un número representativo de Unidades de Producción, la herramienta contiene apartados sobre características de la unidad de producción, infraestructura, alimentación, sanidad, análisis de riesgos, manejo, genética, reproducción, economía y comercialización; se realizaron los ajustes pertinentes para que el instrumento de evaluación pueda definirse como una herramienta para la obtención de información, misma que permitió caracterizar a los productores y sus unidades de producción. Para la consecución de este objetivo también se utilizaron otras herramientas para obtener información relevante, que ayudaron a determinar la

funcionalidad de los sistemas acuícolas (mapas, ordenamientos, calendarios estacionales, diagramas históricos, líneas de tendencia). Entrevistas a informantes clave, conversaciones puntuales con personas que conocen la temática acuícola.

Con la información obtenida en campo, se generó una base de datos en Excel (2016), a partir de la cual se analizó la información mediante la obtención de estadísticas descriptivas, información que posteriormente permitió asignar las ponderaciones según el diseño de muestreo utilizado.

Marco de muestreo y tamaño de muestra

Para la realización del presente estudio, se contó con una base de datos del padrón de productores acuícolas en la presa Malpaso, agremiados al el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas A.C. (CESACH, 2022), obteniéndose un total de 76 Unidades de Producción Acuícola (UPA's), dedicadas al cultivo de mojarra tilapia, que se encuentran activos, organizados en sociedades cooperativas o bien como personas físicas.

Se utilizó un muestreo estratificado con asignación Neyman (Scheaffer *et al.*, 1986); 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, se seleccionaron 40 Unidades de Producción (UP) en la presa Malpaso, distribuidas en tres estratos:

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.

3.2.2 Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del agua

Determinación de calidad de agua

Para la determinación de la calidad de agua, se analizaron sus parámetros fisicoquímicos, identificando zonas de deterioro y zonas potenciales con relación a la actividad acuícola. Esto se define con indicadores que, obtenidos a través de la información de campo, mediante metodologías de muestreo establecidas de la obtención de parámetros fisicoquímicos del agua de manera directa, entre los que se encuentran: Oxígeno disuelto, temperatura, pH, alcalinidad, dureza, nitratos, nitritos, amonio, las lecturas se tomaron con ayuda de kits de colorimetría utilizados en acuicultura y fotómetros de campo.

Se realizaron transectos en el embalse y se definirán los puntos a muestrear, las mediciones de calidad de agua se realizarán durante un año y se replicarán en los sitios elegidos.

Los indicadores que se obtendrán por el método de análisis en laboratorio certificado son: la conductividad eléctrica, pH, cloro residual, materia flotante, sólidos suspendidos, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fosforo total, grasas y aceites, coliformes totales y coliformes fecales).

Para determinar el grado de contaminación por metales pesados, se realizarán diagnósticos en agua, tilapia y sedimento, en un laboratorio con certificación y en apego a la normativa: NOM-127-SSA1-1994, de Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Se realizará la toma de muestra, etiquetado y embalaje para el envío respectivo a laboratorio autorizado y aprobado por EMA (acreditación A-0476-041/13), mediante el método; Determinación de fosfatos (P₂O₅) en productos de la pesca por Espectroscopia de Emisión Óptica-Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), Determinación de metales pesados (Cadmio, Plomo, Arsénico, y Mercurio) por ser los más importantes en riesgo en salud en productos de la pesca por Espectroscopia de Emisión Óptica-Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

Para Agua mediante el método; determinación de metales y metaloides en agua potable, purificada y alimentos por Espectrofotometría de Emisión Óptica-Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

3.2.3 Elaborar un modelo matemático de predicción

Modelo predictivo para la producción de tilapia

Para lograr el éxito en el sistema de producción de jaulas flotantes, la selección de un sitio adecuado que permita la operación eficiente de las jaulas flotantes y la estimación adecuada de la densidad de siembra de la mojarra tilapia en diferentes condiciones climáticas, son elementos fundamentales para elevar el potencial productivo de estas UPA's.

En la presente investigación, se consideró esencial el uso de diferentes herramientas tecnológicas que permiten el almacenamiento, manejo y análisis de datos que tienen una base geográfica, además ofrecen un respaldo tecnológico de análisis e integración de la información que permiten acelerar y aumentar la eficiencia de los procesos de aprovechamiento óptimo del espacio.

Batimetría

Para la elaboración de un modelo de las zonas analizadas que permita la identificación de áreas potenciales, se realizará un estudio de batimetría (profundidad, corrientes

predominantes), las observaciones de profundidad se realizarán utilizando un ecosonda con geoposicionador global satelital (GPS) marca GARMIN, modelo GPSMAP 421S.

La ecosonda, adquiere y almacena cada dos segundos la información de profundidad, posición y tiempo todas ellas configuradas en un sistema UTM con Datum WGS84 para validar los datos registrados y obtener mayor precisión, nos indicará la profundidad del punto y se realizará un mapa de profundidades, se realizará un análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua y los datos batimétricos.

3.2.4 Propuesta de ordenamiento espacial

Determinación de áreas potenciales

La determinación de capacidad de carga acuícola constituye una herramienta de planificación, puesto que permite obtener una aproximación a la intensidad de uso de las áreas o zonas por lo que sustenta y requiere decisiones de manejo; el cálculo se hace a través de un proceso en el que se deben considerar una serie de factores (Cifuentes *et al.*, 1992; Acevedo, 1997).

Las variables a considerar para analizar y obtener los resultados de capacidad de carga física de la presa Malpaso, son los mencionados a continuación:

- 1) Batimetrías
- 2) Ubicaciones de las Unidades de Producción (apartado 4.1.8)
- 3) Densidades de siembra
- 4) Tiempo de cultivo
- 5) Factor de Conversión Alimenticia (FCA)
- 6) Índice de Calidad del Agua (ICA):

El factor de mayor importancia para conocer la capacidad de carga física es el Índice de Calidad del Agua (ICA). El cálculo del ICA es una excelente fuente de información para predecir problemas sanitarios en los cultivos en base a las altas densidades de siembra, malos manejos de organismos y algunas otras condicionantes de estrés en los peces.

El ICA se estima a partir de la aplicación de la siguiente formula:

$$ICA = \sum \frac{WiPi}{5Pi}(K)$$

ICA= Índice de Calidad del Agua

W_i = Pesos específicos asignados a cada parámetro (1-4)

P_i = Valor asignado a cada variable de acuerdo con los resultados previos; es decir si el resultado se encuentra dentro o fuera del rango deseable (1-2)

K = Constante

Una vez obtenido el ICA, se compara el resultado con la tabla de criterios generales del Índice de Calidad del Agua para la acuicultura.

La capacidad de carga física, será el producto final y como tal deberá incluir el análisis de todas las variables evaluadas y la representación de estas áreas potenciales se representará de manera gráfica mediante el mapeo de las zonas potenciales de acuerdo al estudio realizado.

Figura 2. Diagrama para obtención de áreas potenciales



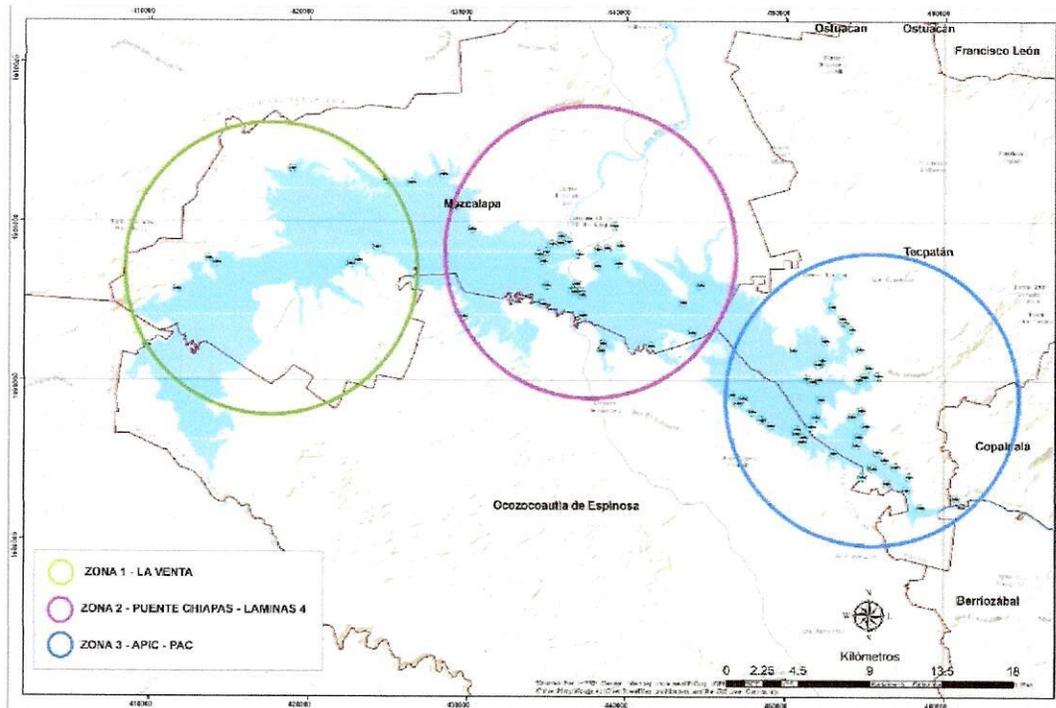
Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización y manejo del sistema de producción acuícola

En el presente estudio, de acuerdo al área que ocupa el embalse de la presa Malpaso, se logró identificar tres zonas geográficas de acuerdo a la ocupación y distribución de las unidades de producción acuícola ahí establecidas (Figura 3), identificando como la zona 1 La Venta, zona 2 Puente Chiapas – Láminas 4 y zona 3 Apic-Pac. Se analizó cada zona de acuerdo a las particularidades de la misma y así mismo se estableció el análisis de todo el cuerpo de agua. Esta zonificación, obedece al propósito de poder identificar en la parte territorial, la superficie del cuerpo de agua que representa las zonas potenciales de ocurrencia o presencia de la actividad acuícola en la región, lo que permitirá posteriormente asignar grados de susceptibilidad potencial y su clasificación, con el objetivo de facilitar los procesos de planeación y de coordinación de las actividades relacionadas con el sector. Esto coincide con lo señalado por el Departamento de Desarrollo Regional del Gobierno de El Salvador (DDR, 1974), quienes señalan que, la zonificación ambiental tiene aplicación para diversos aspectos que deben ser comprendidos en la planificación del desarrollo del sector rural, de tal manera que, la zonificación cubre los siguientes objetivos: a) Establece un valor sobre el potencial productivo de las diferentes zonas; b) correlaciona los factores socioeconómicos con los recursos naturales; c) proporciona una base para la planificación agrícola y d) proporciona una base para la puesta en marcha de nuevas políticas de desarrollo que contemplen cambios estructurales; en general, al delimitar las zonas ambientales se están señalando áreas con alta potencialidad para el desarrollo que pueden responder en un plazo muy breve a un fuerte impulso de desarrollo, como resultado de la concentración de los medios técnicos y financieros disponibles.

Figura 3. Presa Malpaso, división de zonas de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de la Información Geográfica del CEIEG

El tamaño de muestra se calculó con una precisión del 10% de error y 95% de confiabilidad, seleccionándose 43 unidades de producción acuícola de un total de 76 identificadas, considerando 6 estratos o categorías de acuerdo a la relación del tamaño de la unidad de producción y el número de jaulas utilizadas.

Tabla 3. Categorización de Unidades de Producción

ESTRATO	NÚMERO DE JAULAS	NÚMERO DE PRODUCTORES	TAMAÑO DE MUESTRA
1	1 - 10	21	13
2	11 - 20	27	15
3	21 - 30	11	6
4	31 - 40	5	3
5	41 - 50	8	4
6	Más de 50	4	2
TOTAL		76	43

Fuente: Elaboración propia

Mediante la utilización de embarcaciones menores impulsadas por motores fuera de borda, se realizó la visita a cada unidad de producción acuícola para llevar a cabo una inspección visual en cada una de las zonas definidas; se identificaron las unidades de producción y se aplicó el listado de preguntas preparadas a través de la encuesta (Anexo 3); además de la encuesta, se realizó un levantamiento de datos sobre aspectos relevantes para el estudio tales como: georreferenciación, elementos operativos y de organización, infraestructura, capacidad física instalada y marca de alimento utilizado. Así mismo, se realizó la toma de parámetros fisicoquímicos del agua, para la integración posterior en una base de datos. Todo esto, con la finalidad de tener una caracterización de la tipología física de cada unidad de producción acuícola estudiada, lo que nos permitió obtener un modelo real de este sistema productivo, al identificar los problemas, conflictos, dificultades administrativas y operativas y su interrelación entre estas, como factores limitativos, desde el punto de vista técnico, ambiental, productivo y socioeconómico.

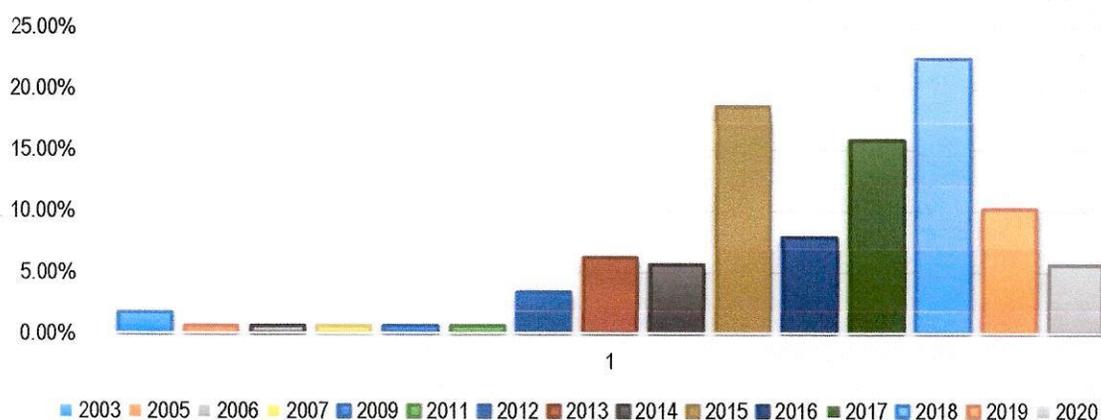
Es importante señalar que, esta caracterización de las UPAs, permitió identificar que estas son consideradas como Unidades de Producción Acuícola Comercial, ya que el principal ingreso económico de estas unidades, proviene de la actividad acuícola con la comercialización de su principal producto, la mojarra tilapia; siendo en la mayoría de los casos (90%), la principal y única actividad económica que realizan a nivel local, regional y nacional.

4.1.1 Tiempo de inicio de las operaciones productivas

Conocer el tiempo de operación de las unidades de producción, sobre el embalse Malpaso bajo el sistema de producción de jaulas flotantes, representó uno de los elementos más importantes para el presente estudio; esto permitió estimar el índice de crecimiento y establecer un indicador indirecto de la tendencia de la actividad en la presa Malpaso.

A continuación, se representa el número de granjas que iniciaron operaciones anualmente desde 2003:

Figura 4. *Tendencia histórica de inicio de operaciones*



Fuente: Elaboración propia

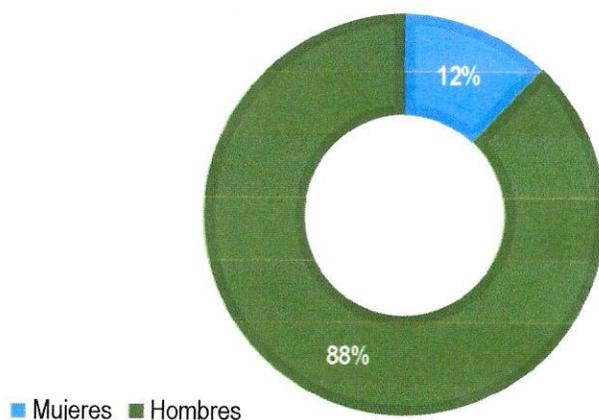
Como es posible apreciar (figura 4), el repunte de la actividad se dio a partir del año 2012 teniendo dos picos importantes en los años 2015 y 2018, la tendencia muestra claramente un crecimiento sostenido a pesar de que encontramos grandes fluctuaciones en los años 2016 y 2020. El primer repunte en la actividad, se explica debido a la gran cantidad de unidades de producción que arrancan el año anterior lo cual generó una sobreoferta de tilapia afectando los precios de venta con un efecto por el que una menor cantidad de productores se mostraron interesados en integrarse a la actividad, solo un año después la tendencia de crecimiento se recuperó.

Por otro lado, como se observa también, se presentó una caída de la actividad en el año 2020, este fenómeno no resulta difícil de entender, toda vez que debido a los efectos de aislamiento social y cierre de los canales de comercialización de la tilapia, se desplomó la demanda del producto y los precios de compra a productores cayeron dramáticamente, lo anterior debido a las dificultades comerciales ocasionadas por la pandemia Covid-19. Es importante señalar que estas UPAs, no dejaron de producir, si bien, la dinámica cambió, se mantuvieron en operación. De acuerdo con lo anterior; al día de hoy se nota una mediana recuperación con normalidad en los mercados, situación que ha devuelto la confianza a los productores e incluso los inversionistas.

4.1.2 Participación por género en la actividad acuícola

De acuerdo con el INEGI (2019), a nivel nacional hay 213,246 personas (población económicamente activa) que trabajan en la industria acuícola (Figura 5); comparada con otros sectores de la economía, la actividad pesquera ocupa el quinto lugar por el número de personas que trabajan en ella; en esta industria, el número de hombres (88%) es mayor que el de mujeres (12%).

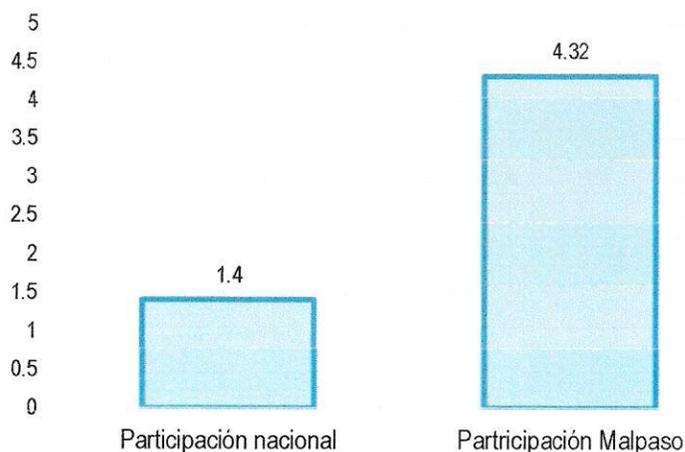
Figura 5. Participación de hombres y mujeres en la pesca



Fuente: INEGI (2019)

Un resultado interesante de esta parte de la investigación se observa con la evidente participación de la mujer en este sector productivo. El porcentaje de mujeres dentro de este sector corresponde 4.32% dentro de las unidades estudiadas en la Presa Malpaso (Figura 6), muy por encima del valor estimado por el SIAP (2019) en su Atlas Agroalimentario, con un valor de 1.4% a nivel nacional; la realidad numérica de la situación de las mujeres rurales orienta el curso de acción de los desafíos en materia de igualdad.

Figura 6. *Participación de la mujer en la acuicultura*



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de mujeres involucradas en la actividad acuícola que se logró identificar en el presente estudio (4.32%), fue superior al estimado nacional, en el cual se reporta que 778 mil mujeres en México son las que trabajan en el sector primario, de las cuales 1.4% se dedica a la acuicultura. En contraste con lo que señalan Lopez & López-Sagástegui (2021), quienes afirman que, en México, como a nivel mundial, existen pocos datos que evidencien la participación de las mujeres trabajadoras en la pesca y acuicultura, en qué condiciones lo realizan y cuál es el valor económico que aporta su trabajo; los datos no existen en parte por el carácter informal de su trabajo, y sesgos y procesos deficientes en la captura de información, como por ejemplo, el no desagregar los datos por género y no considerar la pesca de subsistencia (llevada a cabo principalmente por mujeres) en las estadísticas, son dos razones que contribuyen a la falta de visibilización de la mujer en el sector pesquero.

4.1.3 Infraestructura

Un elemento fundamental del presente estudio es describir la infraestructura actual y activa del embalse (Tabla 4), ya que este es un indicador directo del volumen de crecimiento y a la vez proporciona elementos para contrastar con el número de crías sembradas, tiempo y talla de cosecha, factor de conversión alimenticia (FCA), etc. De manera que, podemos conocer el grado de tecnificación de la operación de las granjas

y de esta manera encontrar áreas potenciales o en caso de explotaciones por debajo de su capacidad instalada o en el caso de que alguna unidad se encuentre realizando actividades de sobreexplotación del área asignada para las actividades acuícolas.

Tabla 4. *Infraestructura de jaulas flotantes en la presa Malpaso*

Número de Jaulas Activas	2,704
Circulares	70
Cuadradas	2,634

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, la mayoría de los productores, prefieren el uso de jaulas cuadradas/rectangulares en la presa Malpaso, esto se explica debido a la mayor facilidad en su elaboración y en el precio de este tipo de jaulas, ya que existe una industria secundaria de fabricantes locales de jaulas, que genera empleos locales indirectos con la población aledaña al embalse. Por su parte las jaulas circulares requieren materiales diferentes (más costosos) aunque representan mayor resistencia a mareas en el cuerpo de agua y son más durables por la naturaleza de su manufactura, estas son utilizadas con mayor preferencia en las zonas Puente Chiapas y La venta, zonas que como se verá más adelante son mayormente productivas.

En cuanto a las dimensiones de las jaulas empleadas, la de mayor importancia en producción es la de 12x12 m, la cual representa 49% de las existentes en el embalse, este tamaño es prácticamente el estándar de operación para la zona debido a su gran capacidad de producción, ofrece un fácil manejo a los organismos, ya que se pueden realizar actividades arriba de ella, haciendo más accesibles las actividades como la alimentación, cosecha, manejo, etc.

En este mismo sentido, las jaulas con mayor frecuencia en su utilización son las de 6x6 m, que representan 27% del total de jaulas, este tamaño de jaulas, es ampliamente utilizado tanto para aquellos productores que prefieren ciclos más cortos, así mismo para los que hacen desdobles a partir del crecimiento de la tilapia; representa por sus

dimensiones mayor facilidad para operar y realizar acciones de manejo que las de mayor medida.

Finalmente, en el embalse se encuentra un total de 16% de jaulas de 3x6 m, éstas tienen una gran aceptación y preferencia para la siembra de alevines, en estas jaulas se mantienen hasta terminar su etapa juvenil para posteriormente ser enviados a una jaula de mayores dimensiones utilizada para etapas de engorda, también es utilizado para la producción de alevines en especial en la zona Apic-Pac.

Hay un total de 18 medidas diferentes en el universo de jaulas en la presa, pero como se señaló anteriormente, las dimensiones mencionadas y descritas, representan 92% de la infraestructura activa actual, el resto no representa una cifra significativa, situación que se explica debido a la manufactura local, entendiéndose que estas pueden ser hechas prácticamente a la medida con gran variedad de calidad y materiales de la zona.

4.1.4 Demanda de crías

Los alevines o crías representan uno de los insumos principales para el éxito técnico y financiero de una granja acuícola. En la presa Malpaso y sus zonas de influencia inmediata se tienen identificados 11 productores de crías de tilapia, estas unidades son denominadas de manera común como laboratorios, lugar donde se reproducen las tilapias y se obtienen organismos para siembra (alevines), en estos laboratorios de producción de cría, realizan actividades para la producción de manera poco tecnificada, operando bajo condiciones vulnerables por las circunstancias climáticas que se presentan en el área, siendo las precipitaciones el mayor riesgo para esta actividad.

Estos laboratorios producen en conjunto un estimado de 27,120,000 organismos por año, lo cual representa 76% de los organismos demandados por los productores en la presa; con respecto a los productores que generan su propia cría para autoabasto, estos suman 4,192,000 organismos por año, representando 12% del total; esto quiere decir que hay una demanda que se abastece externamente a la presa.

De acuerdo con lo anterior, se encuentra una importante área de oportunidad para la producción de crías en la zona, ya que a pesar de la importante producción de la zona

hay muchas mejoras posibles en genética, tallas, manejo sanitario, disponibilidad constante, etc. Para los productores de insumo biológico que abastecen a estas granjas.

Esta oportunidad se presenta principalmente en las zonas Puente Chiapas – Láminas Cuatro y La Venta, en las cuales es muy reducido el efecto de producción de crías para autoabasto, ya que en la primera solo 9% produce sus crías y en la segunda 100% las adquiere con un tercero. La zona Puente Chiapas representa la zona de mayor aporte al consumo de crías, alimento y por ende genera una mayor producción por ciclo al año consume cerca de 16,000,000 de crías, por su parte la zona La Venta demanda casi 8,500,000 crías.

4.1.5 Elementos relevantes del manejo

Como se ha expresado anteriormente, el conocimiento de los procesos productivos de las unidades, permite un elemento de ventaja competitiva entendiendo de mejor manera cómo funcionan y cuáles son sus puntos débiles; técnicos, administrativos, sanitarios, etc. Uno de los elementos indispensables en el sistema de producción de engorda es saber a qué mercado va dirigido el producto final y de qué tallas es requerido, debido a que el éxito de la actividad radica en la ganancia de peso durante el tiempo en cultivo. A continuación (Tabla 5), se especifican los promedios para la presa Malpaso de indicadores de alta relevancia técnica-operativa:

Tabla 5. Datos productivos del cultivo de tilapia en la Presa Malpaso.

Tiempo de engorda (meses)	Talla de venta promedio (g)	Número de ciclos por año	Volumen de producción anual (Ton)	Volumen de consumo anual (Ton)	FCA
5.25	525.00	2.01	15,157	26,380	1.7

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 5, el tiempo de engorda en promedio es de 5.25 meses con una talla de venta promedio de 500 g, lo cual representa la tendencia, pero existen aspectos importantes que caracterizan cada una de las regiones y permiten observar los

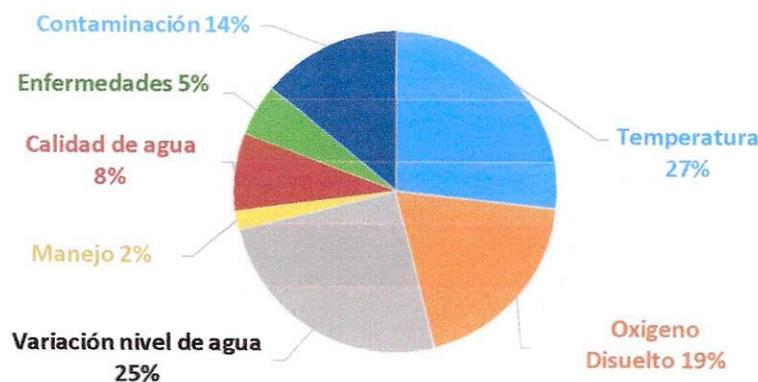
elementos de oportunidad específicos en materia de producción de biomasa y rendimiento.

El factor de conversión alimenticia promedio se calcula en 1.7 kg de alimento consumido por kilo de biomasa producida, lo cual para un sistema de producción en jaulas es un buen valor. Sin embargo, más adelante en las caracterizaciones por zonas encontramos una variación significativa. El elemento principal de esta tabla es el volumen de producción anual de la presa Malpaso el cual está calculado en 15,000 toneladas anuales considerando las variaciones de producción en los ciclos de primavera y verano-invierno.

4.1.6 Riesgos sanitarios

La sanidad de un sistema de producción acuícola es tan relevante como en cualquier sistema de producción animal, a partir del gran crecimiento de la actividad en la presa los retos sanitarios se han incrementado notablemente al grado que eventos de mortalidades y contingencias sanitarias ya forman parte del vocabulario de los productores y representan un riesgo latente para su operación. Al respecto se consultó a los productores sobre los elementos que ellos consideraban más dañinos en su operación y en la figura 7 se expresa el porcentaje relativo basado en sus menciones:

Figura 7. Principales riesgos en la actividad Acuícola en la presa Nezahualcóyotl



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura 7, se observa que la temperatura es el elemento más mencionado en 27% de las respuestas; esto se explica por el registro de altas

temperaturas que alcanza el agua en la presa durante las estaciones de primavera y parte del verano, llegando en ocasiones los 32 °C, sin embargo, en invierno se han registrado temperaturas de hasta 24 °C. Estas condiciones de fluctuación de temperaturas son aprovechadas por patógenos oportunistas que afectan a los organismos desencadenando eventos de mortalidad, ocasionando pérdidas económicas significativas para las unidades de producción.

Posteriormente, 25% de los productores reconoció como riesgo para la actividad acuícola, la variación del nivel de agua, lo cual se debe a la reducción de profundidad por el manejo de los niveles máximos y mínimos como medida de precaución ante los temporales, así como de la operación de las turbinas y compuertas para la generación de electricidad en la presa. Estas reducciones en los niveles obligan a los productores a movilizar sus jaulas cuando se encuentran en lugares próximos a tierra buscando mayor profundidad y mejores condiciones de calidad de agua, lo que representa en la mayoría de las ocasiones un gasto extraordinario para el productor.

Otro de los riesgos mencionados por los productores, es el oxígeno disuelto en el agua, representando 19% de las menciones; este puede obedecer a diferentes causas, la mayor parte de estas, atribuidas a fenómenos meteorológicos. Bajo este sistema de producción, este parámetro representa un alto riesgo, ya que a diferencia de producción en estanquería no es posible realizar recambios de agua a voluntad y además no se cuenta con sistemas de aireación de emergencia.

El resto de las opciones están representadas por contaminación, enfermedades, calidad de agua y manejo, las cuales no representan un riesgo en particular, ya que la presa no tiene antecedentes de contaminación industrial, agrícola u orgánica. Sin embargo, es de resaltar que las cantidades de alimento que se suministran de manera diaria representan un riesgo potencial que puede afectar el ecosistema, además en el estudio refleja que el manejo a los organismos tenga un aporte de 2%, cuando es un elemento fundamental de prevención y buenas prácticas, a pesar de esto la actividad les permite con escasos conocimientos operar sus instalaciones con un rendimiento regular que financieramente es viable, esto también refleja el papel que juegan los servicios profesionales a través de la asistencia técnica y la capacitación formal.

4.1.7 Comercialización

La venta de la tilapia es el siguiente eslabón dentro de la cadena productiva y de esta depende la estabilidad de una granja, así como su crecimiento y en su caso el éxito o fracaso de su operación. Durante el año 2020, la contingencia sanitaria y posterior a la implementación de las medidas de distanciamiento social en numerosas zonas comerciales y autoservicios fueron cerrados al público, lo cual representó el desplome en la demanda de tilapia (entre otros muchos productos), lo cual de inmediato redujo los precios de compra 30% y disminuyó sensiblemente su mercado durante meses y mejorando hasta el último trimestre del año.

De acuerdo con la tabla número 6, donde se muestra el destino final y consumo del producto (Ton/año), tan solo 19% de la producción anual tiene como destino final para consumo en el estado de Chiapas, siendo en Tuxtla Gutiérrez el punto de mayor comercialización el Mercado del Norte, a través del cual se da el principal canal de comercialización de mayoreo y menudeo de pescados y mariscos en la entidad.

Tabla 6. *Destino del producto*

Destino final del producto (Ton/año)											
Consumo Chiapas					Mercado Nacional						
Mercado del norte	Interior Chiapas	Tonalá	Tapachula	Mapastepec	Tabasco	Veracruz	Minatitlán	Oaxaca	Campeche	Cancún	Ciudad de México
1848	767	55	272	1	5304	1308	3685	204	133	44	1808
11.98%	4.97%	0.36%	1.76%	0.01%	34.37%	8.47%	23.88%	1.32%	0.86%	0.28%	11.72%
19.08%					80.92%						

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, 80.9% de la producción en Chiapas, se destina al mercado nacional principalmente a los estados de Tabasco y Veracruz, a los mercados de Villahermosa y Minatitlán, respectivamente, los cuales tienen un alto grado de consumo de tilapia y gustan especialmente en Tabasco de tallas jumbo (mayores a 800 g) las cuales son comúnmente producidas en las zonas de La Venta y Puente Chiapas. El siguiente mercado en importancia es la Ciudad de México debido a su gran demanda en temporada de cuaresma. Lo anterior nos permite definir el mercado de la tilapia producida en este embalse como un mercado maduro y con enorme capacidad de crecimiento.

4.1.8 Caracterización por zonas de la presa Malpaso

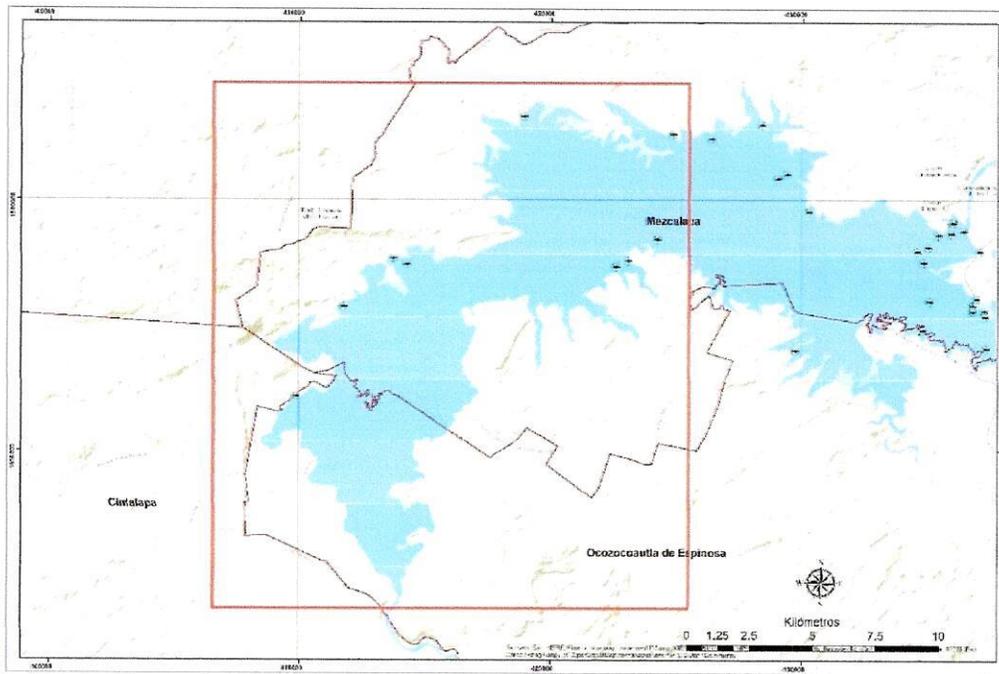
De acuerdo con el Instituto de Ingeniería (UNAM, 2002), Chiapas es el octavo estado más grande del país, con una superficie de 75,634 km², en la que confluyen zonas costeras, llanuras, selvas y montañas. Si bien posee una vasta riqueza natural, es evidente que en la región se requiere de una mayor dotación de infraestructura y equipamiento que ayude a detonar su crecimiento económico; como en su momento la construcción del Puente Chiapas que cruza el embalse de la presa Nezahualcóyotl, detono económicamente la región de Mezcalapa. Este puente, posee una longitud de 1,208 m y 10 m de ancho, tiene dos carriles de circulación y se integra al tramo Las Choapas - Raudales Ocozocoautla de la autopista Cosoleacaque - Tuxtla Gutiérrez. Gracias a dicha construcción, se redujo la distancia (861 kilómetros) y el tiempo de traslado (cinco horas) entre Chiapas y la Ciudad de México. Así mismo, la obra permitió la oportunidad de desarrollar la actividad acuícola, principalmente en el rubro de la comercialización del producto y la distribución de insumos necesarios para la actividad.

Zona 1 La Venta

La zona La Venta se encuentra al oeste del parador turístico Puente Chiapas, en su zona más extrema colinda con el estado de Veracruz (Figura 8). Esta zona representa una producción anual de 8,472,900 crías de mojarra tilapia, lo cual implica 31% del consumo de la presa.

En esta zona se encuentra la unidad de producción más grande de la presa, esta, demanda un volumen anual aproximado de 2,100 toneladas de alimento balanceado, produciendo 1,200 toneladas de tilapia al año. A pesar de ser la zona con menos unidades e infraestructura, tiene mayor potencial en términos de volumen de cosecha, lo anterior se atribuye al nivel de profesionalización de sus productores y a la cercanía al Puente Chiapas, que los ubica cerca de compradores, distribuidores de alimento, materiales e insumos, etc.

Figura 8. Zona La Venta



Fuente: Elaboración propia

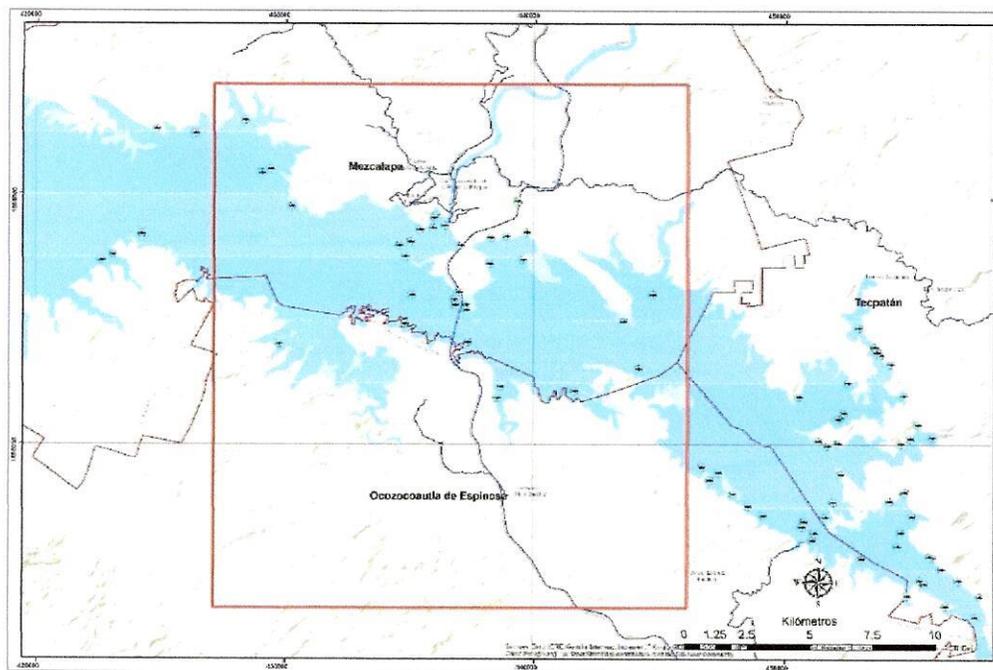
Zona 2 Puente Chiapas - Láminas Cuatro

La zona Puente Chiapas considera las localidades de Láminas Cuatro y la zona de compuertas (Figura 9); no obstante que, la zona goza de la mayor cercanía a vías de comunicación y mejores accesos, no es la región con el mayor número de granjas, pero sí con la mayor cantidad de infraestructura y producción.

Esta zona representa 51% de la producción global; tiene una demanda anual de 15,982,000 crías por año de las cuales producen 13% y este consumo representa 45% del total de la presa.

En la figura 9, se muestra el mapa de ubicación de las unidades de producción para mayor referencia de su ubicación espacial:

Figura 9. Zona Puente Chiapas – Láminas Cuatro



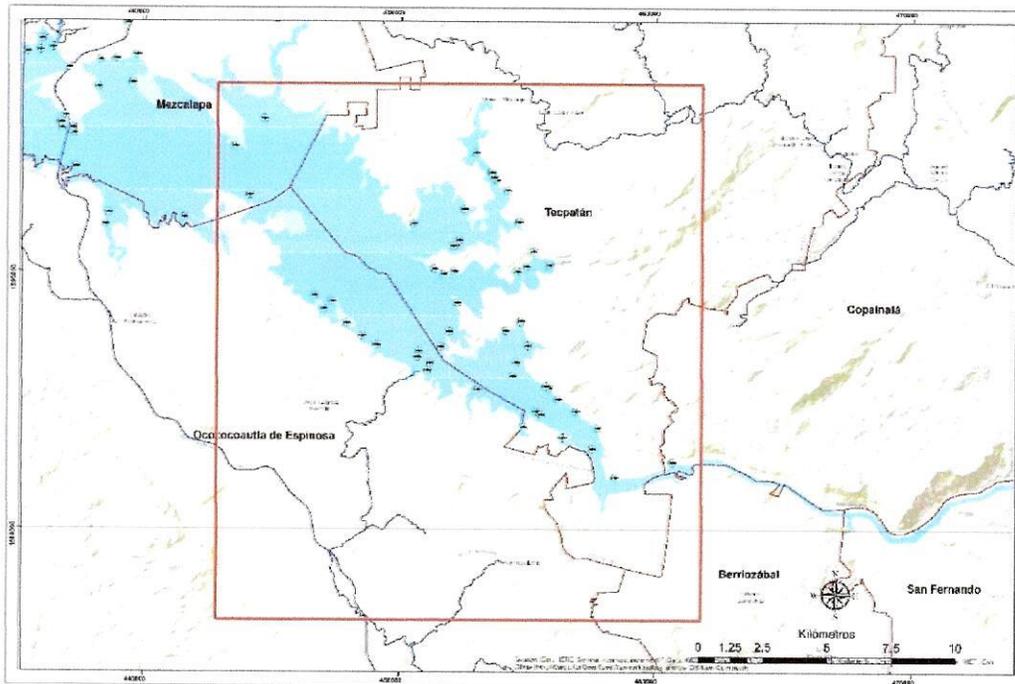
Fuente: Elaboración propia

Zona 3 Apic-Pac

La zona Apic-Pac es el inicio del cauce de la presa y se encuentra al sur-sureste del Puente Chiapas (Figura 10), es la zona con el mayor número de granjas, pero la segunda en volumen de producción.

Esta zona representa la de mayor cantidad de unidades de producción, como se aprecia en el mapa; es la más densa en términos de dispersión de granjas. También es la zona con los accesos más complicados y el precio de venta está en promedio un peso por debajo que en las dos zonas restantes.

Figura 10. Zona Apic-Pac



Fuente: Elaboración propia

4.2 Caracterización fisicoquímica del agua en la presa Malpasos

4.2.1 Calidad fisicoquímica del agua

Para el adecuado desarrollo de la actividad acuícola, el agua se constituye como el principal recurso y medio para el cultivo de las especies a manejar, por lo tanto, resulta de gran importancia conocer y mantener en los rangos adecuados y óptimos las características fisicoquímicas del agua.

Durante el trabajo de campo, se pudo observar que, en diferentes épocas del año, el nivel del agua del embalse se modifica drásticamente, debido principalmente a los niveles permisibles establecidos por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), como parte del control y seguridad de la presa hidroeléctrica; esta variable sin duda, incide en la diferencia en los parámetros fisicoquímicas del agua a lo largo del año, criterio que aunado a las condiciones medioambientales de temperatura y precipitación, pueden favorecer o no el desarrollo adecuado de los organismos bajo manejo (*O. niloticus*). Para ello fue necesario, además del trabajo de campo, consultar la información disponible en las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de las

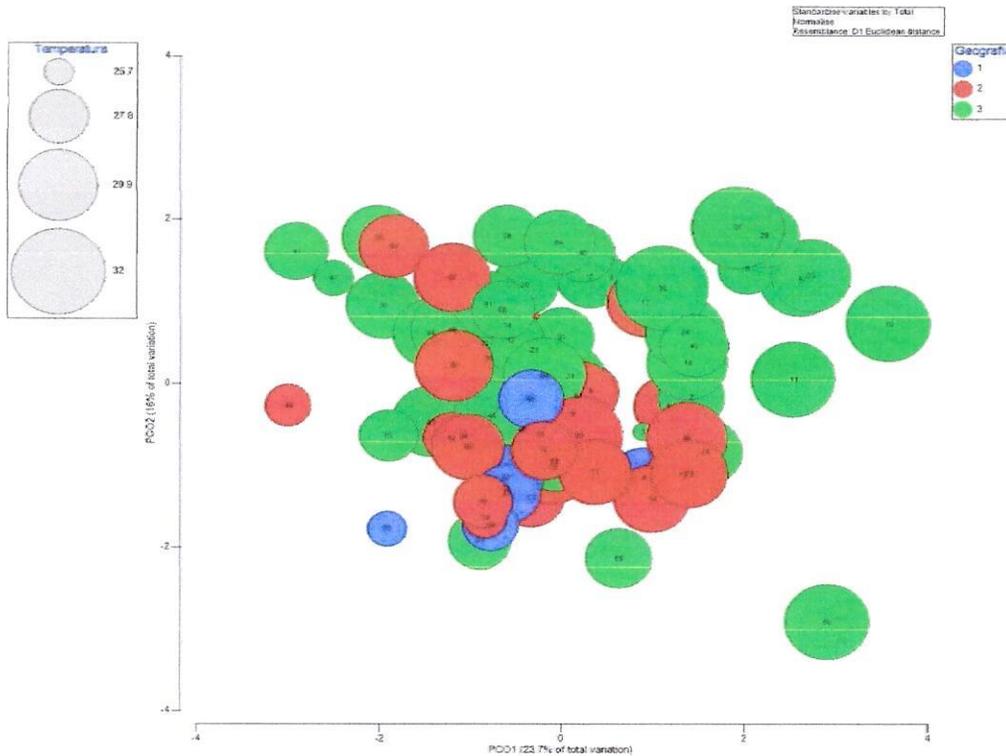
diversas plataformas de información de la CFE, donde se monitorean los niveles en tiempo real de cada uno de los embalses en el estado de Chiapas. Esto permitió identificar dos temporadas (estiaje y lluvias) y la caracterización y comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua en el embalse de la Presa Malpaso.

Identificar estas dos temporadas también permitió, con base en la temperatura del agua, establecer los tiempos de siembra y de cosecha que los productores emplean, identificando los mejores tiempos para cada actividad, de tal forma, que esto les permite tener mejores condiciones que se reflejan en los volúmenes de producción al término de cada cosecha. De manera general, se identifican dos periodos de siembra y cosecha; considerando este parámetro del agua, el mes de mayo se constituye como el primer periodo de siembra, con una temperatura promedio de 30.03 °C, para su posterior cosecha en los meses de octubre-noviembre, en promedio los tiempos de producción oscila entre los seis y siete meses, periodo en el que se alcanza la talla comercial para su venta (500-700 gr) en la zona; este lapso también dependerá de las distintas condiciones que se puedan presentar en la unidad de producción, condicionando el tiempo para obtener estas tallas comerciales. El segundo periodo de siembra es en los meses de septiembre a noviembre, donde en promedio se alcanza una temperatura de 28.88 °C, para su posterior cosecha en los meses de marzo a abril.

Temperatura

Como se puede apreciar (Figura 11), el comportamiento por zonas, la zona 3 y 2 que corresponde a Apic-Pac y Puente Chiapas, la temperatura refleja un incremento respecto a la zona 1, debido a que la actividad se desarrolla en polígonos de poca profundidad, lo que representa un incremento de la misma y se convierte en un potencial factor de riesgo sanitario por la proliferación de agentes etiológicos principalmente de origen bacteriano.

Figura 11. Comportamiento de la temperatura en la presa Malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

Al respecto, la temperatura resulta ser uno de los parámetros más importantes en cuestión de proyectos acuícolas debido a que influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, así como la formación de depósitos, sedimentación y filtración (Cabrera, 2021).

Este mismo parámetro, permitió identificar también, el periodo de mayor riesgo y vulnerabilidad para la actividad acuícola en este tipo de sistema productivo, observando que durante los meses fríos, noviembre a febrero, se observa un menor crecimiento de los peces y la disminución en el consumo de alimentos; la mortalidad de los peces, se atribuye muchas veces a este cambio de temperatura en el agua, cuando se presentan cambios repentinos de hasta 5 °C, condición que propicia el estrés en el pez y algunas veces su muerte. Estas variaciones en la temperatura, condicionan la demanda de

oxígeno en el agua, por ello la importancia de contar con este parámetro para el manejo adecuado del cultivo.

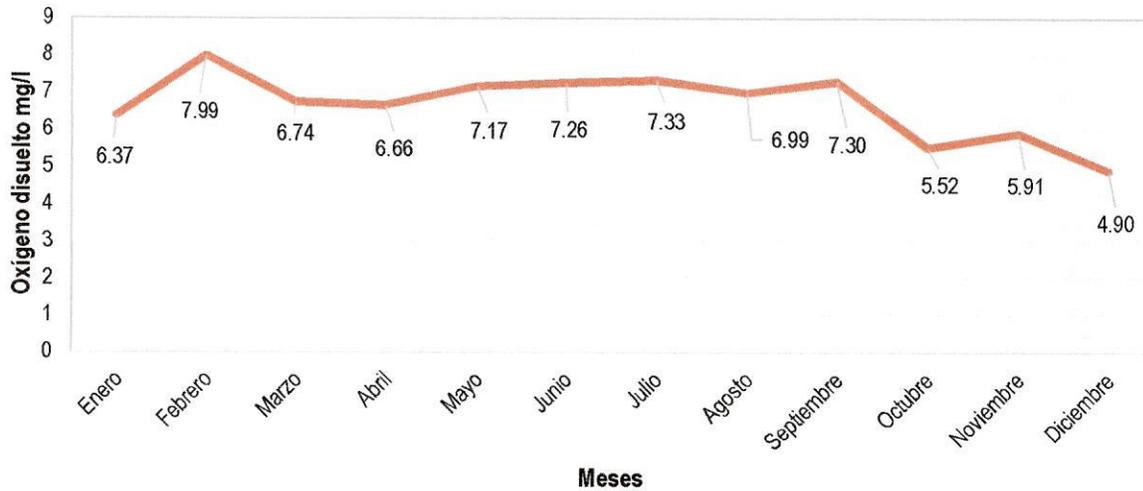
En este sentido Saavedra (2006), señala que, el rango óptimo de temperatura para esta especie es de 28-32 °C, cuando disminuye a los 15 °C los peces dejan de comer y cuando desciende a menos de 12 °C no sobreviven mucho tiempo; durante los meses fríos los peces dejan de crecer y el consumo de alimento disminuye, cuando se presentan cambios repentinos de 5 °C en la temperatura del agua, el pez se estresa y algunas veces muere. Cuando la temperatura es mayor a 30 °C los peces consumen más oxígeno. Las temperaturas letales se ubican entre los 10-11 °C.

Oxígeno

El siguiente parámetro, en importancia, lo constituye el oxígeno disponible en el agua; para medirlo, se empleó un oxímetro y se tomó la lectura a cada metro en la columna de agua, hasta llegar a los 20 metros de profundidad. El comportamiento del oxígeno disuelto en el agua (Figura 12), tuvo variaciones en las distintas épocas del año, siendo el valor promedio más bajo en el mes de diciembre con 4.9 mg/l y el valor promedio más alto en el mes de febrero con 7.99 mg/l. Considerando estos parámetros obtenidos, podemos deducir que el embalse de la presa Malpaso, tiene condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad acuícola. Diversos autores señalan que, el rango óptimo en cuanto al oxígeno disuelto en el agua, no debe ser inferior a 3 mg/l. Sin embargo, investigaciones más recientes, como la realizada por (Cabrera G., 2021), señala que el oxígeno disuelto mínimo para la actividad acuícola es de 5 mg/l; en ambos casos, el promedio mensual documentado, rebasa estos parámetros establecidos.

Sin embargo, no hay que perder de vista, que los rangos obtenidos, representan un promedio mensual, por lo tanto, es necesario que este parámetro sea medido diariamente, ya que su variación depende de otros factores ambientales tales como la temperatura, la exposición al sol, el aire y la disponibilidad de materia orgánica en el cuerpo de agua; por lo que no debería sorprender que algunos días se encuentren parámetros inferiores al mínimo establecido como óptimo para la acuicultura; condición que brinda condiciones de estrés a los organismos, propiciando la aparición de enfermedades y el subsecuente riesgo de mortalidad en la unidad de producción.

Figura 12. Comportamiento de oxígeno en la presa malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

El oxígeno se constituye como el principal elemento del agua, sus niveles pueden ser mantenidos de manera natural por las corrientes que permiten su circulación, el oleaje provocado a partir de los vientos y por las reacciones químicas que llevan a cabo los organismos a través de su actividad fotosintética. Un cambio drástico en este parámetro, permite también la mortalidad en los sistemas productivos, presentándose condiciones de asfixia, cuando se presenten valores inferiores a 1 mg/l en el embalse. A pesar de que la mojarra Tilapia, es de las más resistentes al manejo en cultivos, puede aguantar lapsos prolongados sin alimento, un cambio en el parámetro de oxígeno, podría detonar en grandes pérdidas para los productores al presentarse altos índices de mortalidad.

Lo anterior coincide con lo descrito por Ibañez Torres (2016), al señalar que la concentración y disponibilidad de oxígeno disuelto son factores críticos para el cultivo de tilapia; al mismo tiempo es uno de los aspectos más difíciles de entender, predecir y manejar y tiene mucho que ver con las mortandades, enfermedades, baja eficiencia en conversión de alimento y la calidad de agua; normalmente, en los cuerpos de agua ricos en nutrientes, el oxígeno es abundante a mediados de la tarde y bastante limitado al amanecer. Este mismo autor, menciona también que, un factor que causa considerables variaciones en los niveles de oxígeno en el agua es el estado del tiempo y particularmente si el tiempo está nublado; la luz solar y el plancton, a través del proceso

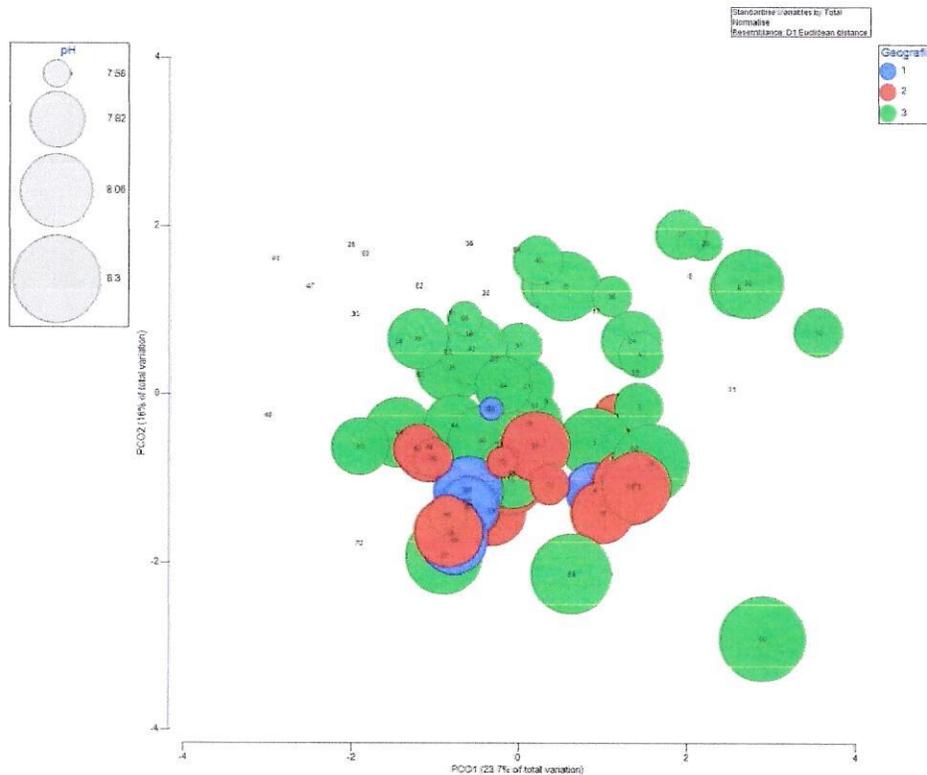
de fotosíntesis, son responsables de gran parte del oxígeno producido, por lo tanto, cuando se dan condiciones de baja luminosidad y se restringe el proceso de fotosíntesis se dan problemas con niveles críticos de oxígeno.

Por lo anteriormente citado, es recomendable, que este parámetro sea medido constantemente por parte de los productores, para poder tomar medidas de manejo que no afecten a sus cultivos. Sin embargo, es importante señalar que 90% de las unidades de producción estudiadas, no cuentan con instrumentos que les permita monitorear estos parámetros, situación que vulnera su producción constantemente. Este indicador, condiciona incluso la conducta de los organismos y su sistema metabólico, de tal manera que, ante la presencia de una baja en el oxígeno en el agua (la cual puede variar incluso en el mismo día a diferente hora), la primera medida recomendada es la suspensión de la alimentación (dieta), con la finalidad de evitar estrés a los peces y evitar así la ocurrencia de altos índices de mortalidad.

pH

El pH, mide el grado de acidez o de alcalinidad del agua, este se mide en una escala absoluta del 1 al 14; en general, en Malpaso, se encontró un rango óptimo para el desarrollo de la actividad acuícola en el embalse (Figura 13), en promedio los valores obtenidos no fueron inferiores a 7, siendo el valor promedio más bajo registrado en el mes de junio con un pH de 7.71 y el valor promedio más alto registrado de 7.81 en el mes de octubre, sin embargo la zona 3 de Apic-pac, denota tendencias de incremento de pH, respecto a las zonas 1 y 2, lo anterior obedece a que, existe un número mayor de afluentes y escorrentías que alimentan la presa en temporada de lluvias, lo que hipotéticamente explica el incremento en los valores. De acuerdo a este estudio, el pH se encontró en un rango óptimo de 7.78 en promedio a lo largo de todo el año; de acuerdo a lo reportado por Luchini (2006), quien menciona que el rango aceptable para proyectos acuícolas deben de estar entre 6.5 y 8.5, ya que un pH que oscile fuera de estos rangos puede presentar la muerte de los organismos en cuestión de horas, sobre todo con valores de pH relativamente bajos, mientras que un pH elevado, superior a 8, puede potenciar problemas de toxicidad debido a la presencia de amoníaco, principalmente.

Figura 13. Comportamiento de pH en la presa malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

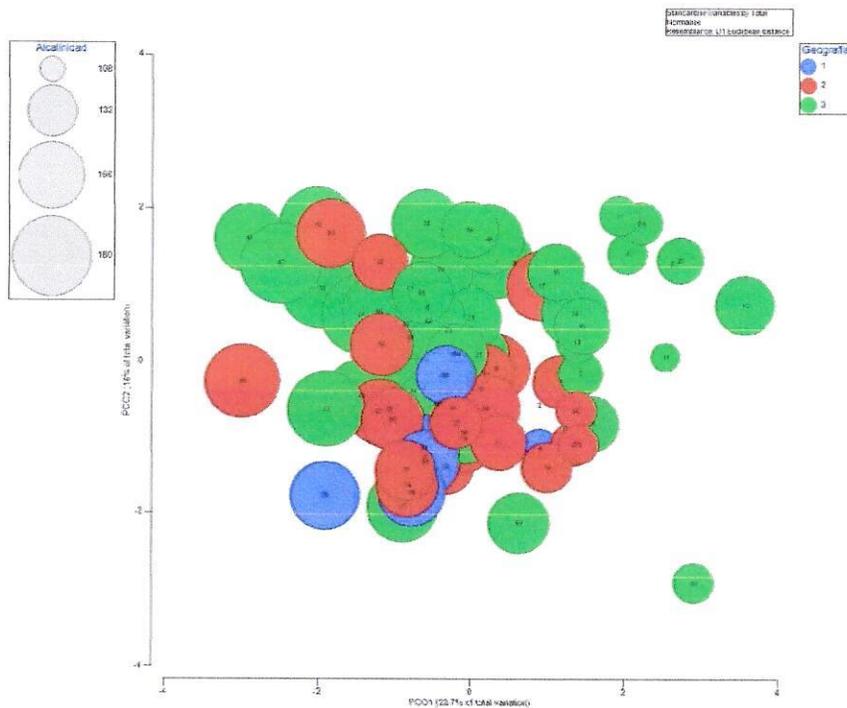
De acuerdo con los valores observados, se estima que en general existen buenas condiciones en cuanto al pH registrado en las tres zonas de estudio, lo cual coincide con Saavedra (2006), quien señala que, el pH interviene determinando si un agua es dura o blanda, la tilapia crece mejor en aguas de pH neutro o levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un pH de 5; un alto valor de pH (de 10 durante las tardes) no las afecta y el límite, aparentemente, es de 11. Con valores de 6.5 a 9 se tienen condiciones para el cultivo (Ibáñez Torres, 2016).

De acuerdo con Valencia (2022), existe una fuerte correlación entre estos tres parámetros analizados, que determina la productividad de estas unidades de producción estudiadas, de tal manera que es necesario analizar de forma integral estos parámetros, con la finalidad de poder dirigir el manejo adecuado a los productores, a través de la emisión de diferentes recomendaciones técnicas.

Alcalinidad

La alcalinidad se comportó de forma lineal durante todo el año dentro de los rangos normales para la producción de Tilapia (Figura 14), registrándose valores no inferiores a 100 mg/l, obteniéndose el más bajo en el mes de julio con 124 mg/l, mientras que el más alto se registró en el mes de enero con valor de 188.57 mg/l. Considerando los valores obtenidos durante todo el año se obtuvo un valor promedio de 160.82 mg/l, siendo esto un valor aceptable para la producción de Tilapia tal como menciona García (2018), quien considera que el nivel normal de alcalinidad se encuentra entre valores como 30 y 200 mg/l de CaCO₃ siendo un equivalente a aguas moderadamente duras.

Figura 14. Comportamiento de la Alcalinidad en la presa malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

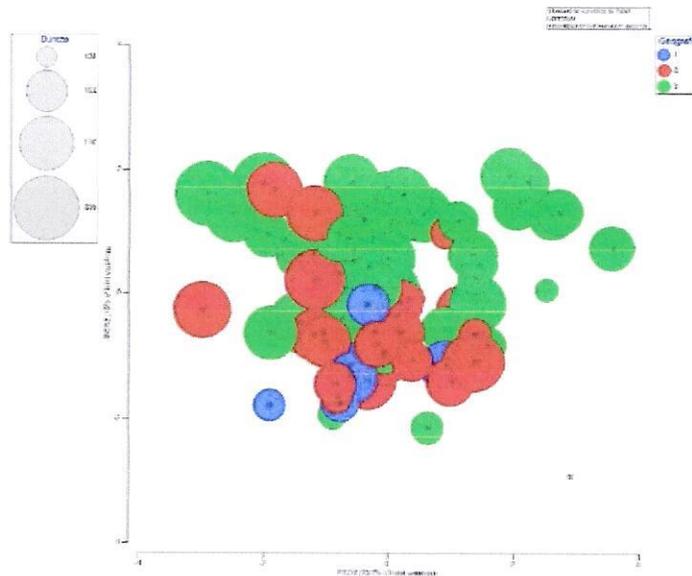
La alcalinidad es una medida de la capacidad tamponante del agua, es decir, de la capacidad de neutralización del pH o de la capacidad de neutralizar la acidez del agua (aguas más alcalinas mantendrán el pH alrededor o sobre el nivel neutro de la escala): los iones carbonato (CO₃) y bicarbonato (HCO₃⁻) contribuyen en el nivel de alcalinidad, donde éste último actúa absorbiendo los iones hidrógeno [H⁺] que causan la acidificación

del medio, manteniendo estable el pH; la concentración de este parámetro está relacionada con el pH y el nivel de CO2 en el sistema (Feest *et al.*, 2020).

Dureza

Para el parámetro de dureza (Figura 15), se observó que el comportamiento es similar entre las zonas de estudio, ya que el indicador se mantuvo en los rangos de 139.38 mg/l en el mes de mayo y 185.71 mg/l en el mes de enero, registrándose un valor promedio durante todo el año de 166.53 mg/l, siendo este un valor idóneo para la producción acuícola, tal como mencionan Coreas-Madrid *et al.* (2022), quienes consideran que la alcalinidad y dureza, son aproximadamente iguales con rangos óptimos entre 50-350 mg/l el agua para el cultivo debe tener una alcalinidad entre 100-200 mg/l.

Figura 15. Comportamiento de Dureza en la presa malpaso



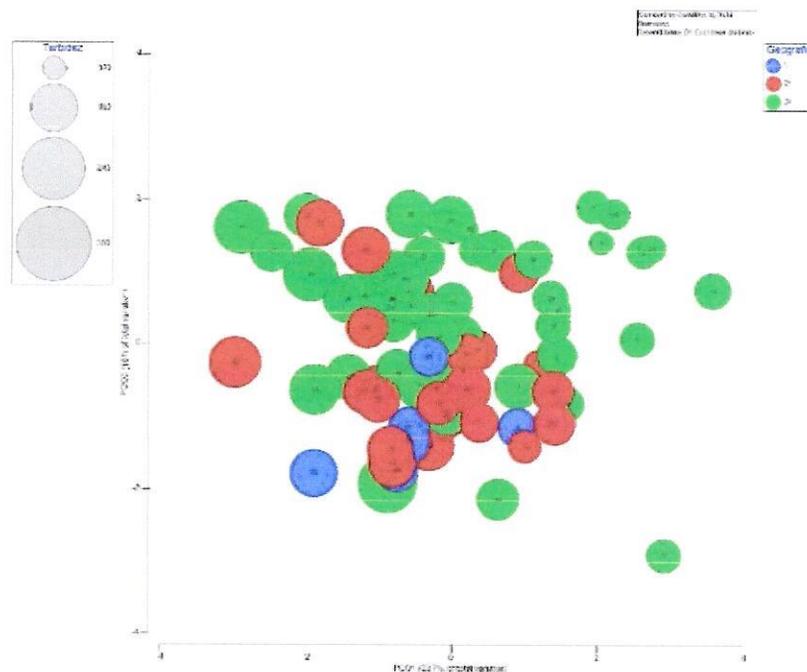
Fuente: *Elaboración propia*

Sandoval (2015), menciona que la dureza es la medida de la concentración de los iones de Ca y Mg expresados en ppm de su equivalente a Carbonato de Calcio; existen aguas blandas (< 100ppm) y aguas duras (>100ppm), y los rangos óptimos deben de estar entre 50-350 ppm de CaCO3; por estar relacionada directamente con la dureza, el agua para el cultivo debe tener una alcalinidad entre 100 ppm a 200 ppm.; durezas por debajo de 20 ppm ocasionan problemas en el porcentaje de fecundidad.

Turbidez

Respecto a la turbidez, se observó un comportamiento influenciado específicamente por la temporada de lluvias y secas (Figura 16), a medida que el agua de arrastre originada por lluvias llega al cuerpo de agua, los niveles incrementan porque hay remoción de sedimentos, se identificó que en temporada de lluvias el valor más bajo en el mes de julio con 87.86 cm. y el más elevado durante el mes de enero con 198.57 cm., considerando estos valores se determina que las condiciones para el cultivo no son óptimas, tal como mencionan Noguez *et al.* (2021), cuando indican que se deben mantener 30 centímetros de visibilidad o transparencia en el cultivo; de igual manera, uno de los elementos más importantes dentro de la composición del agua es el plancton, condición necesaria en acuicultura, entre más plancton, mayor turbidez, por otra parte, Ibañez Torres (2016), menciona que la turbidez causada por partículas de arcilla en suspensión que actúa como filtro de los rayos solares afecta la productividad primaria del estanque y por consiguiente la actividad fotosintética del fitoplancton y la producción de oxígeno.

Figura 16. Comportamiento de Turbidez en la presa malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

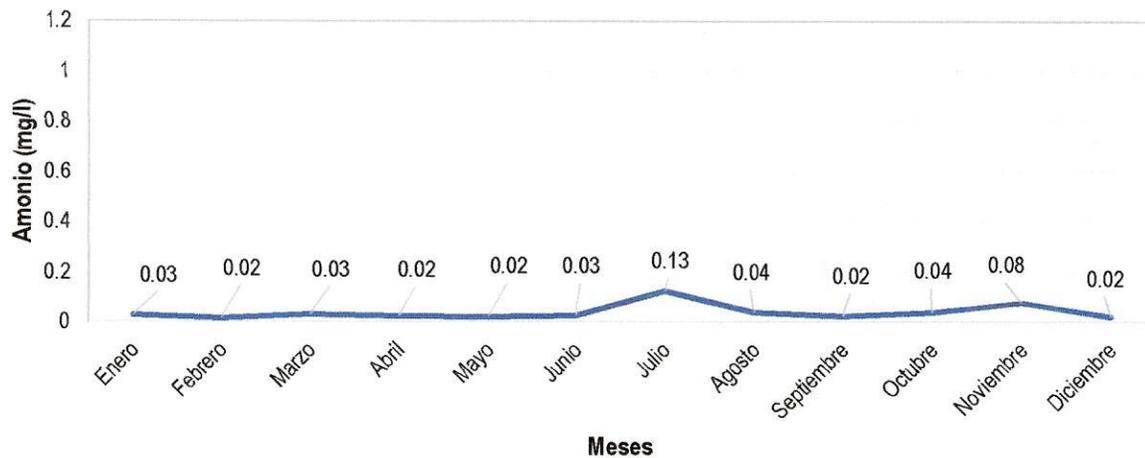
La presencia de partículas suspendidas en cantidades variables y la cantidad de algas en el agua condicionan su turbidez; su efecto impacta en el crecimiento de peces y de otros organismos naturales que forman parte de su alimentación debido a que la luz penetra a una corta distancia y la fotosíntesis se reduce (Coronado *et al.*, 2019).

Amonio

Los compuestos nitrogenados, pueden causar problema si el sistema se sobrecarga con grandes cantidades de materia orgánica. El amonio es producto de la excreción, de orina de los peces y de la descomposición de la materia orgánica (material vegetal y alimento no consumido por los peces)

De acuerdo con Bautista & Ruíz (2011), el amoniaco es un nutriente para microorganismos y algas en los sistemas de distribución, su presencia en el agua favorece la multiplicación de estos; niveles de nitritos superiores a 0.75 ppm en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos. En este sentido es necesario medir este parámetro en los cuerpos de agua donde se desarrolla la actividad acuícola, puesto que este resulta ser un indicador que permite tomar medidas preventivas aplicadas por el productor y reducir los riesgos en su producción. Los datos registrados durante un año (Figura 17), refieren que este parámetro en el agua, se encuentra en concentraciones muy bajas, indicador de que el agua se encuentra en condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos acuícolas que en el embalse se llevan a cabo.

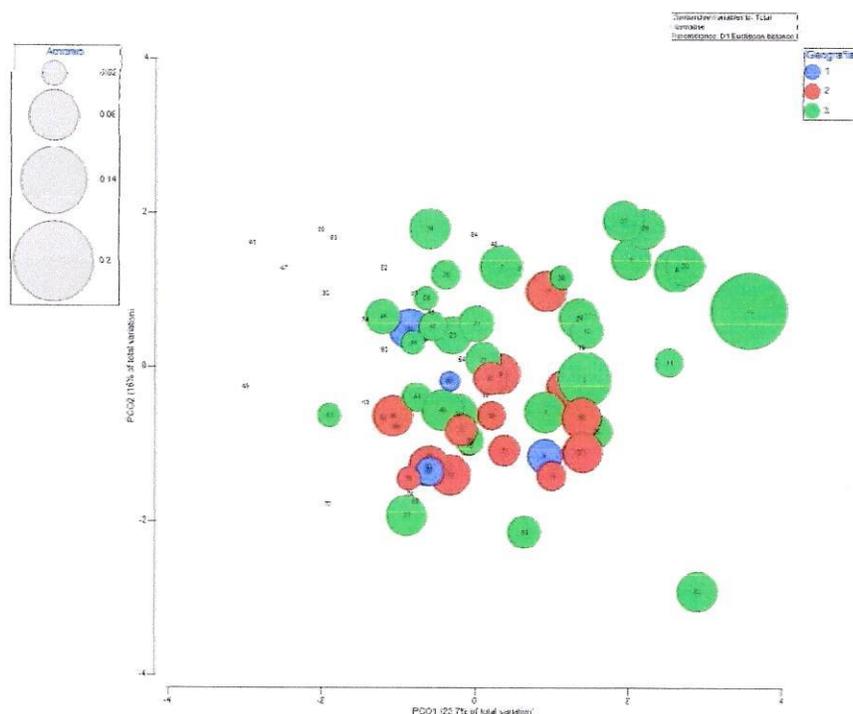
Figura 17. Comportamiento de Amonio en la presa malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

Lo anterior, y específicamente sobre las condiciones del agua en cuanto a los niveles de amonio, coincide con lo señalado por De la Cruz y Mayo (2015), quienes señalan que los niveles de amonio, nitrito y nitrato en el agua de cultivo acuícola provocan deterioro en la calidad del agua, lo que provoca efectos negativos (mortalidad) sobre los organismos que ahí habitan, siendo el amonio el mayor generador de problemas, por su grado de toxicidad; conforme aumenta el nivel de amonio en el agua, la excreción de amonio decrece de la mayoría de los animales acuáticos y aumenta el nivel de amonio en la hemolinfa y tejidos; lo que genera efectos sobre la fisiología del animal a nivel celular, de órganos y sistemas.

Figura 18. Comportamiento de Amonio en la presa Malpaso.



Fuente: *Elaboración propia*

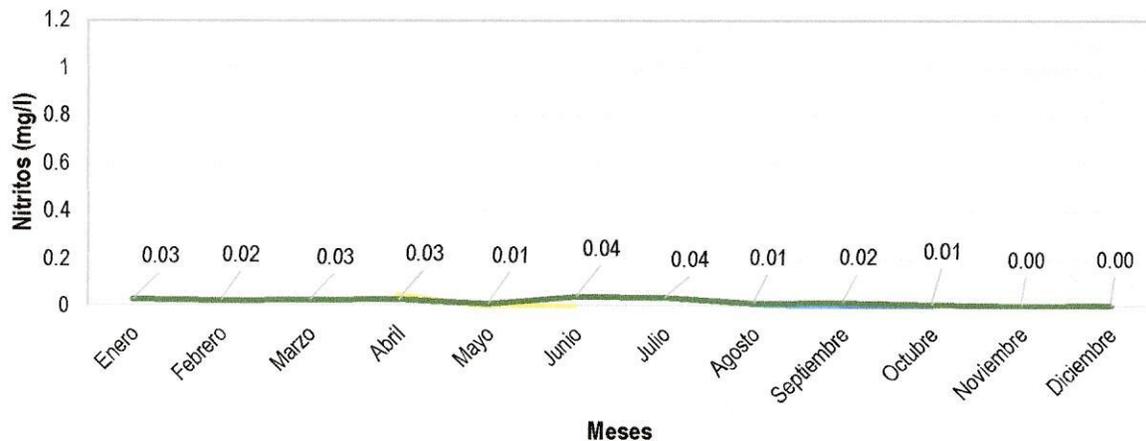
De acuerdo con la figura 18, se observa que existe una tendencia sobre el incremento de amonio en la zona 3 Apic-Pac; lo anterior se relaciona con unidades de producción que realizan actividades en polígonos de profundidades bajas, donde los sedimentos están a distancias muy cortas de las mallas y las heces que se precipitan son un factor de riesgo.

Nitrito

En referencia con el amonio, está la presencia de moléculas de nitrito en el agua; esto se confirma con lo señalado por Vargas *et al.* (2017), quienes mencionan que los nitritos son un producto intermedio de la transformación del amoníaco en nitrato por la actividad bacteriana; este es tóxico en los peces, mermando la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno, por lo cual su toxicidad está relacionada con el oxígeno disuelto en agua, un incremento en el CO₂ puede disminuir el pH a un valor por debajo de 6.5, lo que puede llevar a toxicidad de nitrito a través de la formación de ácido nitroso. De ahí la relevancia de medir este parámetro fisicoquímico del agua, ya que un aumento en los

niveles de nitrito, puede ser causal de altos índices de mortalidad en los cultivos acuícolas. Por ende, al ser muy bajos los niveles de amoniaco en el agua, los de nitritos, son igualmente bajos; como se observa en los datos registrados en un periodo de 12 meses (Figura 18), los niveles registrados son muy bajos, siendo los meses de junio y julio, donde se documentan los valores más altos con un registro de 0.04 mg/l.

Figura 19. Comportamiento de Nitritos en la presa Malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo con el FONDEPES (2004), señala que los niveles de amonio deben fluctuar entre 0.01 a 0.1 ppm; valores cercanos a 2 ppm resultan ser críticos para los cultivos acuícolas; los niveles óptimos para la mojarra tilapia se encuentran en un rango de 0.6 a 2.0 ppm.

Como anteriormente se señaló, el amonio y los nitritos son las formas nitrogenadas más tóxicas; las altas concentraciones de amonio causan daños cerebrales, en las branquias, lesiones en órganos internos y más susceptibles a enfermedades lo que reduce las tasas de crecimiento en los cultivos; los altos niveles de nitritos pueden dificultar la circulación del oxígeno en el organismo del pez.

La importancia de medir estos parámetros radica en que, de esta manera se pueden establecer criterios para mejorar la alimentación en los cultivos, es decir, un exceso de alimentación podría incrementar estos parámetros en el agua, por lo que es necesario medir la cantidad y calidad del alimento que se está suministrando. De esto dependerá

que se establezca una buena alimentación en cuanto a ración y número de raciones, para evitar la sobrealimentación, que propicie el descontrol en la calidad del agua.

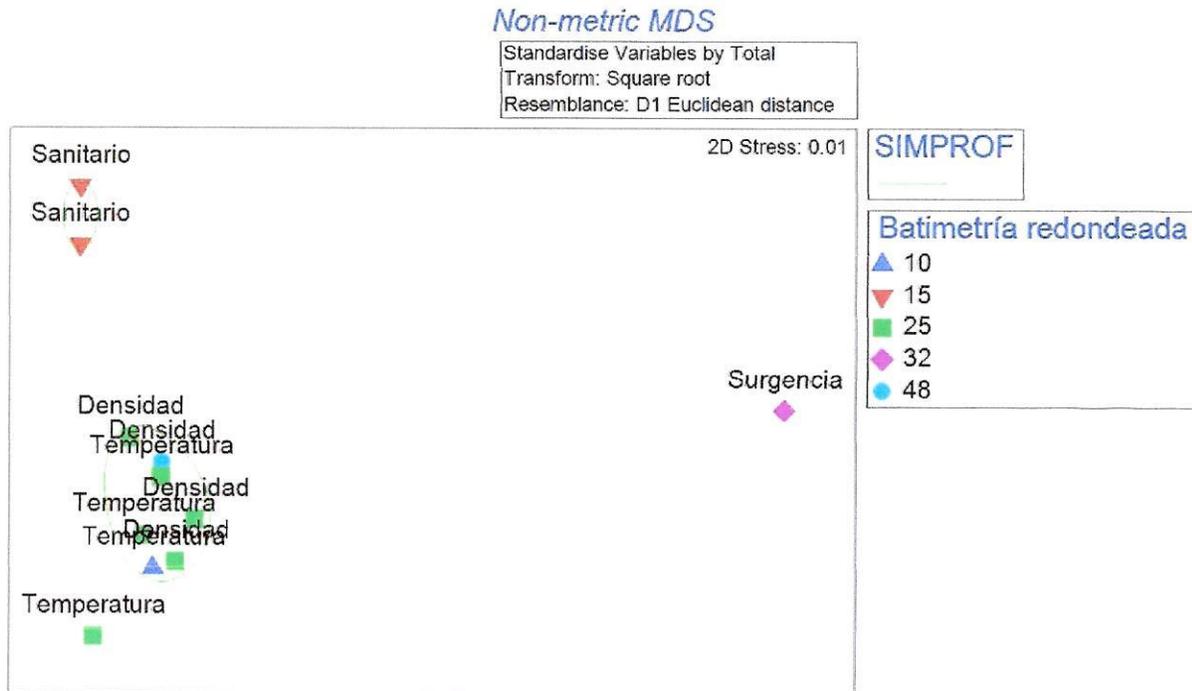
4.2.2 Batimetría

Con la finalidad de identificar aquellas zonas con potencial productivo en la presa Nezahualcóyotl, esto como parte de la propuesta de ordenamiento de la actividad acuícola, se llevó a cabo un análisis de la batimetría de dicho embalse; esto con la finalidad de conocer la configuración (relieve topográfico) del fondo de la presa. Para ello se empleó un ecosonda, con posicionador global satelital (GPS) marca GARMIN, modelo GPSMAP 421S, instrumento con el cual se realizó una serie de mediciones de la profundidad tomadas desde una embarcación menor, que permite obtener registros de las diferentes profundidades del fondo del embalse, de tal forma que, mediante el análisis de esta información, se permite obtener un perfil del relieve (profundidades) que existe en el fondo del embalse.

Resulta importante saber qué capacidad útil tiene cada embalse que lleva años en operación; ante la escasez de datos sobre sedimentos, para realizar las estimaciones necesarias, las batimetrías resultan ser una práctica económica y confiable para obtener una aproximación numérica a la sedimentación ocurrida en cada embalse (Campos-Aranda, 2012).

Como se observa en la figura 20, la problemática asociada con la profundidad del cuerpo de agua se agrupa y se define considerando al mayor grupo de datos que comprenden variables relacionados con la densidad de siembra y el incremento de temperatura, así mismo se agrupan dos unidades definiendo como un tema sanitario para el factor de su agrupación, y un caso aislado, un evento de surgencia o inversión térmica del agua, quedando como un hecho aislado asociado con actividades de origen climático.

Figura 20. Problemáticas asociadas a la batimetría



Fuente: *Elaboración propia*

El modelo batimétrico, también conocido como modelo de profundidad digital, corresponde a una representación gráfica y digital del terreno de un espacio en específico. Existen modelos ráster donde la distribución de los datos es una matriz regular, y modelos vectoriales donde los datos se distribuyen en puntos, líneas o polígonos; la elaboración del modelo digital, a partir de datos discretos, cuya distribución es irregular, requiere desarrollar un proceso de interpolación a fin de generar una matriz de datos regulares; en este contexto, mientras mayor es la densidad de datos discretos existentes, más fiel será el modelo a la batimetría real (FIPA, 2017). Existen varios métodos de interpolación y su aplicabilidad dependerá de factores tales como la irregularidad del terreno, la densidad de los datos discretos, la distribución de los datos, la resolución de la matriz requerida, entre otros (Jin & Andrew, 2008).

El presente estudio de investigación, realizó el análisis batimétrico de las distintas zonas identificadas, para ello se realizaron 9 análisis batimétricos, con los siguientes puntos y el registro de las diferentes profundidades, como se observa en la figura 21.

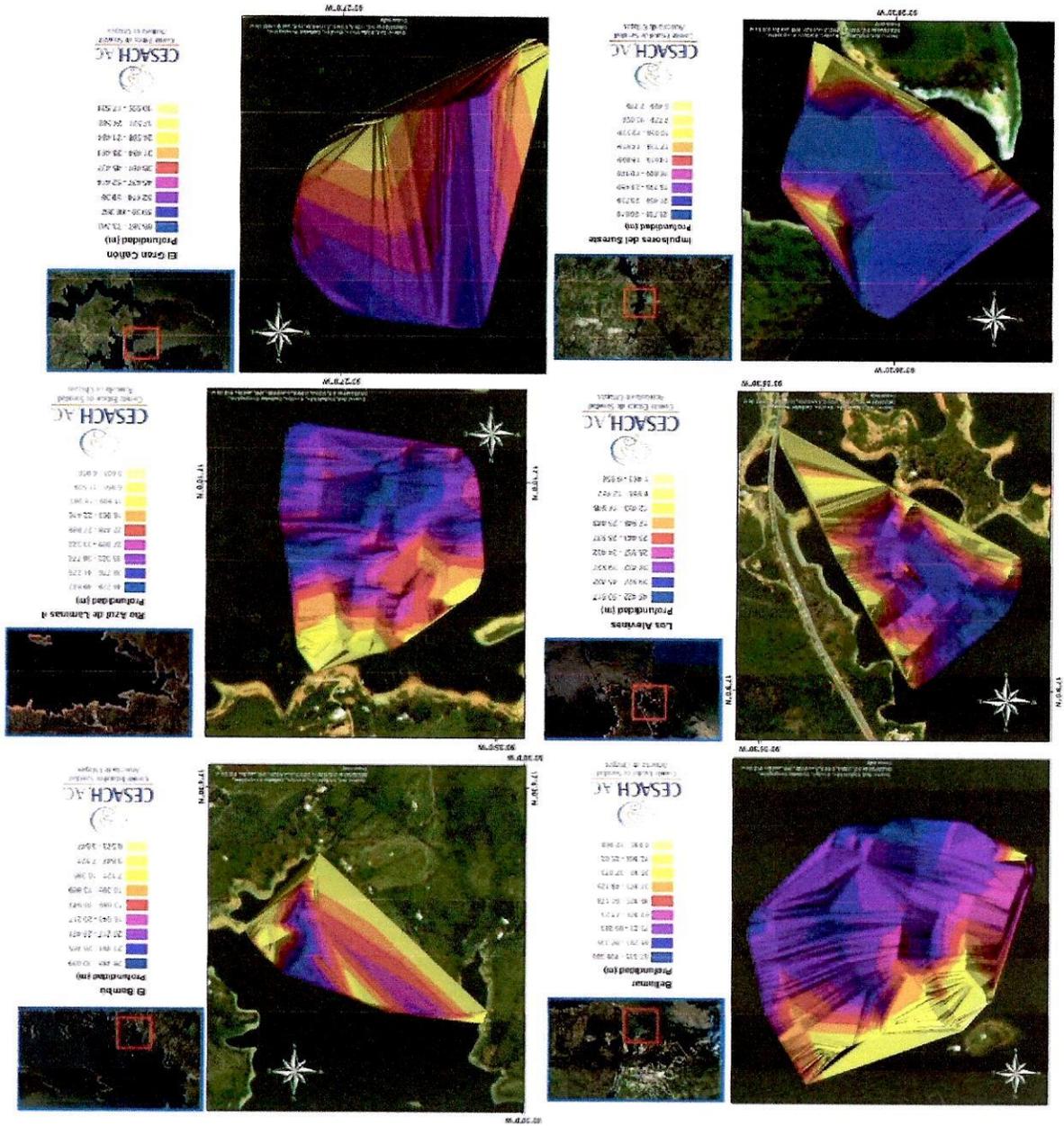
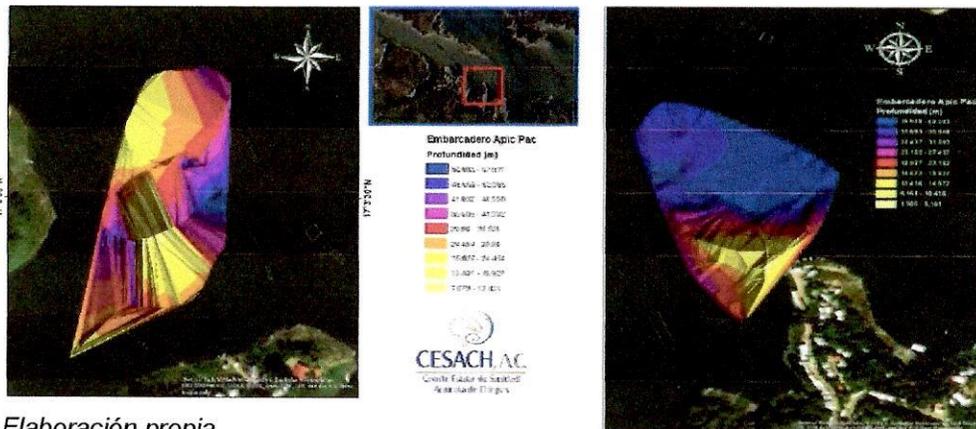


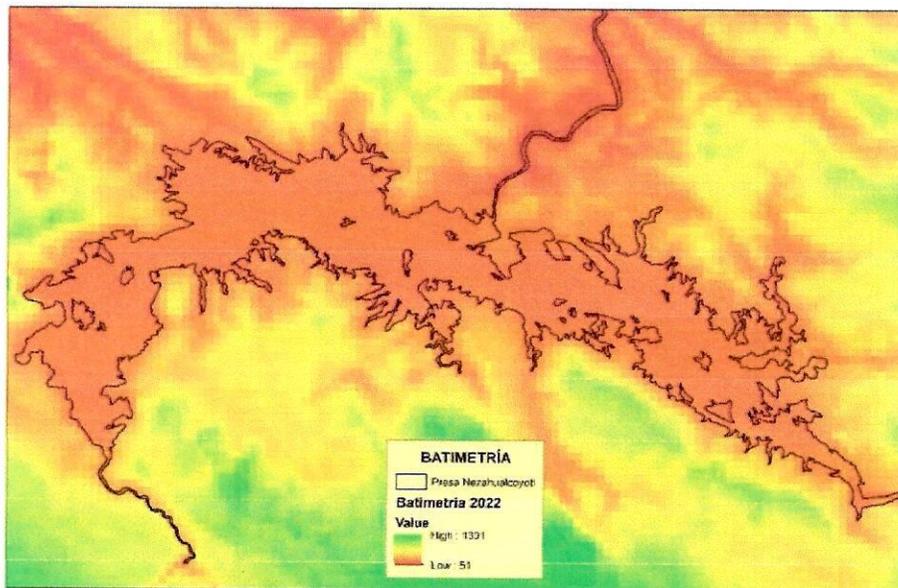
Figura 21. Registro batimétrico en la presa Malpaso



Fuente: *Elaboración propia*

La batimetría realizada en la presa Malpaso, mostró valores que oscilaron entre los 0 y 107 metros, de tal manera que se puede estimar una batimetría promedio para todo el embalse de 51 metros, tal y como se observa en la figura 22.

Figura 22. **Registro batimétrico promedio en la presa Malpaso**



Fuente: *Elaboración propia*

Los valores más altos se encontraron en la parte intermedia del embalse, así como en la zona de Apic Pac y la zona de La Venta, siendo éstas las que mayor potencial productivo presentan para el desarrollo de la actividad acuícola. La topografía del fondo corresponde a una planicie subacuática, donde existen zonas someras y planas amplias,

principalmente asociadas a los cauces de los ríos. Es importante señalar que estas entradas al embalse, propician el arrastre de sedimentos que son depositados en las partes que conforman el límite del embalse (orillada), por lo que la zona central del embalse, presentó los valores más altos en cuanto a su batimetría.

De acuerdo con estos registros, se puede clasificar el sistema como un ambiente medianamente profundo; estos datos coinciden con lo señalado por Romero-Beltrán *et al.* (2020), quien señala que en las depresiones al centro del embalse fue donde se ubicaron los valores más altos. Los resultados muestran que en el embalse, se encontraron grandes extensiones con potencial productivo para el desarrollo de proyectos acuícolas en la parte central del sistema, mientras que en la parte de los extremos (este y oeste), así como en la parte más somera asociada a los márgenes de la misma, existen grandes áreas con menor potencial o inadecuadas.

4.3 Modelo de predicción de densidad para una producción sustentable

Con la finalidad de poder estimar las densidades de siembra adecuadas, con base en su capacidad de carga y en diferentes condiciones, sobre todo climáticas, es necesario, proponer modelos de predicción o escenarios que permitan desarrollar el potencial productivo con tendencia a la sustentabilidad.

Por lo anterior, se considera relevante para la presente investigación, preservar los cuerpos de agua en la producción de los cultivos acuícolas, siendo necesario estimar el nivel de capacidad de carga que puede soportar el ecosistema acuático; en general el concepto de capacidad de carga física permite describir la zona que esta geográficamente disponible y físicamente adecuada para determinados tipos de acuicultura. Como menciona Warningsih *et al.* (2016), La capacidad de carga es un concepto importante para la gestión sostenible, que permita producir piscicultura de modo que pueda evitar los cambios aceptados por el ecosistema natural, satisfaciendo las necesidades de la población acuática sin disminuir o afectar la calidad del agua.

Uno de los factores principales que permitió identificar la capacidad de carga física de la presa fue el Índice de Calidad del Agua (ICA). El cálculo del ICA en el cultivo de tilapia y sobre todo en embalses (presas), es una herramienta de importancia significativa para

tomar las decisiones adecuadas en el cultivo de peces en el sistema productivo de jaulas flotantes. La medición histórica y constante de este índice respalda de manera trascendental la toma de decisiones de manejo en la UPA, así como garantizar al consumidor final un producto inocuo (Tabla 7).

Tabla 7. *Criterios generales según el índice de calidad del agua para uso en pesca y vida acuática*

Valor numérico del ICA	Estado de calidad del agua	Características del agua
70-100	Excelente (E)	Pesca y vida acuática abundante
60-70	Aceptable (A)	Límite para peces muy sensitivos
50-60	Levemente Contaminada (LC)	Dudosa la pesca sin riesgos de salud
40-50	Contaminada (C)	Vida acuática limitada a especies muy resistentes
30-40	Fuertemente Contaminada (FC)	Inaceptable para actividad pesquera
0-30	Excesivamente Contaminada (EC)	Inaceptable para vida acuática

Fuente: Elaborado con datos de Sánchez-Rodríguez, et al 2013

A partir de la tabla anterior y con los datos obtenidos en el estudio, se elaboraron nuevos criterios generales para comparar y determinar las densidades de siembra apropiadas para el cultivo de tilapia en jaulas flotante según el Índice de Calidad del Agua para cultivos acuícolas, manejando tres estados de calidad: bueno, regular y malo, como podemos observar en la tabla 8.

Tabla 8. *Criterios generales ICA aplicadas en la presa Nezahualcóyotl*

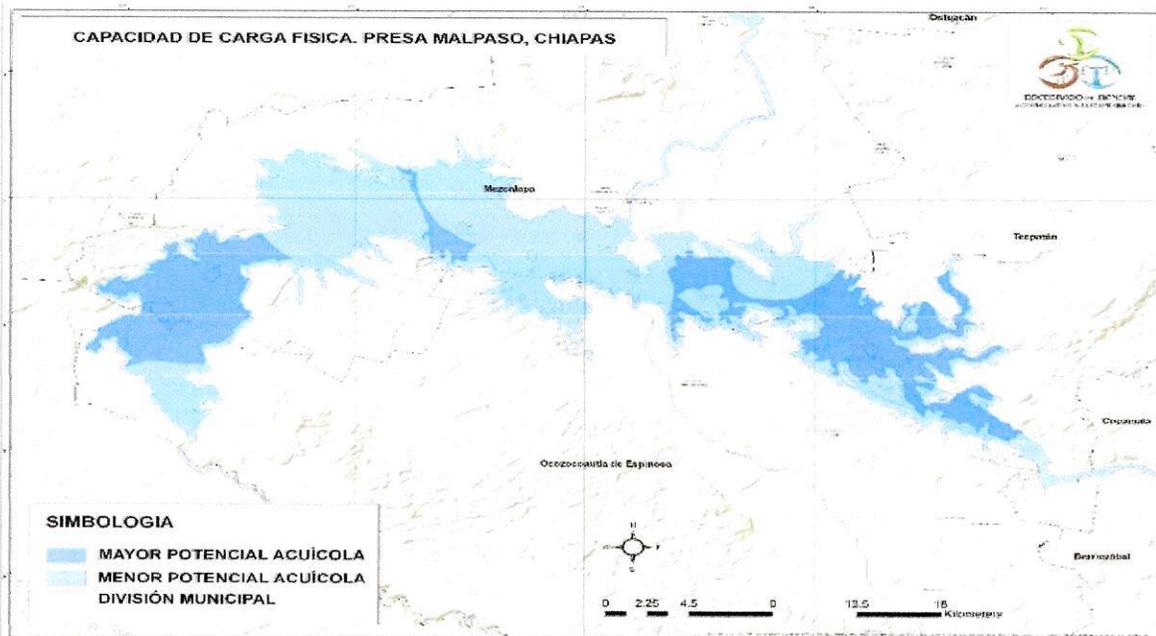
Valor numérico del ICA	Estado de Calidad del Agua	Características del agua para la producción acuícola
70-100	Bueno (B)	Apto para la producción de acuícola
30-70	Regular (R)	Límite de producción acuícola
0-30	Malo (M)	No apto para la producción acuícola

Fuente: *Elaboración propia*

La densidad es calculada en organismos por metro cúbico de agua (m^3). En caso de que las condiciones se encuentren adecuadas para el cultivo de tilapia, se podrá cultivar altas densidades (25-20 organismos/ m^3). Por el contrario, si el ICA es de mala calidad de acuerdo a la tabla anterior, se deben emplear densidades de cultivo menores a los considerados cuando los parámetros se encuentran en buen estado. Esta propuesta matemática es apropiada y básicamente fundamentada en la calidad de agua, en contraste con la situación actual, donde consideran la densidad de siembra de manera empírica, situación que evidencia carencias técnicas y falta de justificación con argumentos.

En la figura 23, es posible observar los resultados de la aplicación metodológica para conocer la capacidad de carga física dentro de la presa Nezahualcóyotl (Malpaso). Las escalas de tonalidades azul que se observan, indica las áreas de mayor potencial acuícola y las escalas de tonos celestes indica las áreas de menor potencial para las actividades acuícolas.

Figura 23. *Mapa de la capacidad de carga en la presa Nezahualcóyotl (Malpaso)*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura anterior se observa que la zona de Apic-Pac y parte de la zona La Venta fueron las áreas identificadas con mayor potencial para la realización de las actividades acuícolas dentro de la presa.

A partir de los resultados que se obtuvieron aplicando la metodología descrita anteriormente para este trabajo y que se encuentra representada en la figura 19, se obtuvieron los siguientes datos:

Zona 1 - La Venta: 3,981 hectáreas aptas para la producción acuícola

Zona 2 - Puente Chiapas – Laminas Cuatro: 441 hectáreas aptas para la producción acuícola

Zona 3 - Apic- Pac: 3,122 hectáreas aptas para la producción acuícola

De las 11,000 hectáreas que conforman la superficie de la presa Malpaso, aproximadamente el 68% de ésta se encuentra con aptitud buena para la producción acuícola, además, las zonas identificadas con potencial para esta actividad no se ubican cercanas a las instalaciones de jaulas flotantes de las Unidades de Producción Acuícola.

En un informe de ordenamiento realizado en la presa Malpaso (CONAPESCA, 2015) se menciona que la determinación de la capacidad de carga acuícola constituye una herramienta de planificación, que permite obtener una aproximación a la intensidad del uso de las áreas; se realizó el cálculo a través de un proceso en el que se consideraron una serie de factores ecológicos, físicos, sociales, económicos y culturales, además con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica calcularon la superficie potencial de cada sitio, contemplaron que la capacidad está dada por el espacio disponible y el espacio requerido para las instalaciones de las Unidades de Producción Acuícola.

Como resultado del informe realizado, se obtuvo que la presa Malpaso cuenta con una superficie potencial acuícola de 4,126 hectáreas, de las cuales 518 hectáreas son de aptitud alta, 3367 hectáreas corresponden a la aptitud media y 241 hectáreas son de aptitud baja. Estos datos son diferentes en comparación a los obtenidos en este trabajo, lo cual se debe a que se emplearon y analizaron metodologías y factores distintos al

modelo que utilizamos para identificar áreas con potencial acuícola en la presa Malpaso (CONAPESCA, 2015).

En Chiapas, se llevó a cabo un estudio por parte del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA, 2021), en una de las presas de mayor importancia del estado, la Presa Belisario Domínguez (La Angostura). El estudio menciona la importancia que tiene la capacidad de carga física como criterio de selección de sitios idóneos o aptos para el desarrollo de los diferentes proyectos acuícolas dentro de la presa La Angostura. Para conocer la capacidad de carga en dicha presa, se aplicó una metodología que incluyó cuatro etapas:

- 1) Integración de los factores de uso legal y conflictos de uso
- 2) Integración de factores biológicos limitantes
- 3) Integración de factores físicos y meteorológicos limitantes
- 4) Integración de factores fisicoquímicos y de calidad ambiental.

Como resultado final del modelo de capacidad de carga física obtuvieron que, se existen zonas muy amplias y con aptitud para el desarrollo de la actividad en la parte central de la presa La Angostura; de igual manera, aunque con menor vocación para la actividad acuícola, en los extremos este y oeste del embalse, así como en el margen del reservorio, se encontraron zonas con vocación; se identificó un total de 28,467 ha con vocación acuícola en la presa, lo que representa 55.2% del área total del sistema.

Los resultados obtenidos en este estudio dentro la presa Nezahualcóyotl, se pueden comparar con otros estudios realizados en diferentes cuerpos de agua o embalses, donde utilizaron diferentes metodologías, siendo el método de Beveridge uno de las más aplicados, como menciona (Rosales-Flores, 2015), en su estudio de la presa Adolfo López Mateos “Infiernillo” que se encuentra ubicada en el estado de Michoacán, México; basándose en el modelo propuesto de Beveridge, pudo detectar zonas de alta aptitud acuícola de más de 50 km² (5,000 ha) debido a que cuenta con grandes atributos hidrográficos y ambientales.

Asimismo, Rojas-Carrillo & Aguilar-Ibarra (2012), utilizaron el método de Beveridge para la estimación de capacidad de carga en sistemas de jaulas flotantes del Lago Pátzcuaro,

México, quienes mencionan que se les dificultó la aplicación de este método por la falta de información sobre las condiciones hidrológicas y limnológicas de los cuerpos de agua. Además, la capacidad de carga es un indicador, cuya variación en su estimación depende de las condiciones ecológicas del cuerpo de agua, mismas que cambian estacionalmente, siendo importante determinar la potencialidad real del cultivo de peces en sistemas de jaulas flotantes en los diferentes embalses del país mediante el análisis de capacidad de carga.

En un estudio sobre capacidad de carga física realizada por (Chibras, 2015), en las jaulas flotantes que se encuentran dentro de la Laguna Corralero, Oaxaca, se utilizó la metodología de Huguenin (1997), la cual consistió en buscar sitios por más de un año, alrededor de la Laguna Corralero para desarrollar proyectos acuícolas, encontrando que los sitios con potencial para cultivos en jaulas flotantes fueron muy limitados y muy escasos, identificando cuatro limitantes principales: la profundidad, la calidad del agua, la seguridad social y la regulación ambiental; en ese estudio se obtuvo como resultado que la superficie de la poligonal que cumple con las características para albergar jaulas para cultivo es de 3.25 hectáreas, esto representa 0.1% de la superficie total de la laguna; los pocos sitios que encontraron con las características apropiadas como, la profundidad, seguridad, e intercambio suficiente de agua, los descartaron debido a que se encontraban cerca de poblaciones de manglar o no fueron elegibles debido a regulaciones locales (sitios restringidos de pesca).

En otro estudio realizado por Warningsih *et al.* (2016), en la presa Koto Panjang, Indonesia, se hizo el análisis de la capacidad de carga de los servicios de aprovisionamiento del ecosistema del embalse de Koto Panjang para el cultivo en jaulas de red flotante mediante el análisis de calidad del agua y calculando la capacidad de carga de contaminación en el embalse para la actividad acuícola. El número de jaulas flotantes en el embalse de Koto Panjang se encuentra por debajo de la capacidad de carga para que pueda desarrollarse.

La determinación de la capacidad de carga en un proceso es difícil, esto se debe a que los sistemas de jaulas flotantes para la acuicultura se encuentran en continua evolución, lo que se asocia a los cambios interanuales y estacionales que ocurren dentro de los

cuerpos de agua. Los procesos de hidrodinámica permiten determinar la capacidad ambiental, por su participación en la dispersión de nutrientes, solución de sustancias y degradación de los desechos orgánicos (Rosales-Flores, 2015).

4.4 Ordenamiento para la acuicultura sustentable en Malpaso, Chiapas

Como se señaló en apartados anteriores, la encuesta aplicada a 46 unidades de producción acuícola, permitió identificar la situación actual de cada UPA, de tal manera que, 80% de las unidades no cuentan con permiso o concesión para el desarrollo de la actividad acuícola, otorgada por la subdelegación de pesca de la CONAPESCA. Esta situación evidencia un desorden en el sector acuícola, ya que no se cuenta con la regulación de la actividad, por lo que esta se considera aún como una actividad informal desde el punto de vista administrativo, principalmente.

Se encontró que 95% de las unidades produce en jaulas flotantes y corresponden a un sistema de producción, semi – intensivo de la única especie (monocultivo) de mojarra tilapia (*O. niloticus*); este sistema les permite manejar altas densidades y requiere forzosamente del aprovisionamiento de alimentos balanceados para su total desarrollo, aplicado principalmente en embalses de agua.

De igual manera, las condiciones actuales del agua y su calidad en el embalse, determina en gran parte la producción de mojarra tilapia, situación que ha provocado una tendencia negativa en cuanto al volumen de producción de esa variedad en los últimos años. Esta situación ha obligado a que los productores tengan que adaptar su sistema productivo a las nuevas condiciones del medio y del sector, de tal forma que, ahora se manejan menos densidades de siembra, como una estrategia para el correcto manejo de la especie, sin embargo, aun así, si bien los índices de mortalidad han disminuido o ya no son tan recurrentes, el ciclo productivo (cosecha) se ha incrementado al pasar de 4 a 6 meses para que el producto alcance la talla comercial (mayor a 800 gr) que se ofrece en la región, considerando así, en el mejor de los casos, que los productores tengan dos cosechas al año.

Al tratarse de una cadena productiva, el manejo de bajas densidades en la producción de mojarra tilapia tiene repercusiones, sobre todo económicas, para aquellas unidades

de producción que abastecen del insumo biológico a las UPAs de Malpaso. Sin embargo, otro problema detectado, está relacionado, precisamente con el origen de este insumo biológico (Alevines) que se requiere, de tal forma que se identificó la introducción de alevines, provenientes de otros estados de la República Mexicana, destacando Jalisco, Tabasco, Yucatán y Campeche. Situación que representa un riesgo sanitario pues, en la mayoría de los casos, se desconoce el origen y la calidad de las crías que se están comprando e introduciendo al estado, sin ningún tipo de regulación.

Aunado a lo anterior, el desconocimiento y la falta de aplicación de las buenas prácticas acuícolas, han fomentado en sobre medida, que las condiciones actuales del agua no sean las más aptas para la actividad, pues la mala disposición de los residuos, vísceras y mortalidad, principalmente, propician condiciones de contaminación del agua, afectando sus parámetros fisicoquímicos y contribuyendo a la proliferación de agentes patógenos (Virus, bacterias, parásitos y hongos) que afectan el estatus sanitario en la región. Se estima que 90% de las unidades de producción encuestadas, no cuentan con un sitio adecuado para la correcta disposición de este tipo de residuos, lo que provoca que estos sean vertidos, directa o indirectamente al cuerpo de agua.

Es importante señalar también que, en los últimos años, se ha observado un fenómeno de abandono de la actividad acuícola en el embalse de la presa Malpaso, hecho condicionado principalmente por las situaciones actuales de la calidad del agua, pero sobre todo por los bajos niveles de la columna de agua donde se desarrolla la actividad, lo que modifica las condiciones fisicoquímicas del agua y que conlleva menores rendimientos en la producción y por consiguiente al desánimo y abandono de la actividad por parte de los productores. Aunado a esto, los precios de comercialización y los altos costos de los insumos (alimento principalmente) abonan a que las personas que se dedican al sector acuícola, busquen nuevas opciones productivas en otros sectores, o incluso, emigren a otros lugares en busca de mejores oportunidades. Aun con estas condiciones, actualmente, la presa malpaso está considerada como la principal región productiva de mojarra tilapia, lo que contribuye a que el Estado, continúe siendo el primer lugar en cuanto a producción de mojarra tilapia en México.

La propuesta de ordenamiento derivada de la presente investigación, plantea las siguientes recomendaciones:

- 1.- Adaptación de la actividad acuícola, a través de la implementación de diversas estrategias de manejo, principalmente orientadas a las densidades de siembra por metro cúbico.
- 2.- Mejorar y aplicar actividades y prácticas de bioseguridad y buenas prácticas que les permita, mejorar el estatus sanitario y reducir el riesgo y vulnerabilidad ante la presencia de los diferentes agentes patógenos.
- 3.- Atender las recomendaciones emitidas por las instancias competentes con la finalidad de mejorar el rendimiento del sistema productivo y la calidad, sanidad e inocuidad de producto final para el consumidor.
- 4.- Promover un esquema regulatorio que permita normar y ordenar la actividad acuícola en el Estado.
- 5.- Promover entre los productores, el ciclo productivo completo, desde la producción del insumo biológico hasta la engorda, con la finalidad de disminuir los riesgos sanitarios y pérdidas económicas, a las que se enfrentan actualmente los productores.
- 6.- Que la actividad se promueva hacia un esquema familiar, siempre y cuando estas UPA cuenten con capacidad para realizarla.
- 7.- Registrar a las unidades de producción acuícola ante las instancias competentes, con la finalidad de regular la actividad acuícola en el estado.
- 8.- Fomentar el apoyo gubernamental a esta actividad pecuaria a través de programas sociales, fideicomisos o créditos que permitan el fortalecimiento de la actividad al sector acuícola. Hoy día no existen esquemas de financiamiento orientado al fortalecimiento de la acuicultura.
- 9.- Con base en la zonificación e identificación de las zonas con mayor aptitud o potencial para el desarrollo de la actividad acuícola, fomentar el ordenamiento y la distribución de las unidades de producción, de acuerdo al potencial productivo del embalse.

10.- Fomentar el manejo adecuado de los residuos especiales, derivados de la actividad acuícola, con la intención de reducir el riesgo y vulnerabilidad de las especies bajo manejo de la población que los consume.

V. CONCLUSIONES

En la presa Malpaso, un elemento indispensable para fomentar el aprovechamiento sustentable del recurso acuícola es iniciar con la difusión y capacitación de acuicultores, para implementar el desarrollo de buenas prácticas de producción, considerando como base la propuesta de reordenamiento, la cual debe ser analizada mediante la consulta de productores y tomadores de decisiones, incluyendo a las autoridades del sector, para lograr revalorizar la riqueza de la actividad, resaltando la productividad y tomando como referencia las áreas geográficas en riesgo y aquellas áreas con potencial productivo, de modo que en lo futuro, la instalación de nuevas unidades de producción tomen como punto inicial la ubicación espacial, la situación de la calidad de agua en las zonas definidas y vincularlo con el desarrollo tecnológico y normativo apegado a los ejes del desarrollo sustentable.

La problemática fundamental de la acuicultura en la presa Malpaso, se determina a través de factores que se encuentran relacionados con la nutrición animal, costos de producción, contaminación del embalse, normativa acuícola y calidad del producto.

El planteamiento de la producción acuícola sustentable se fundamenta en la implementación de buenas prácticas; lo anterior trae como consecuencia ahorros en el proceso productivo, disminución de riesgos de contaminación, disminución a la dependencia de insumos y se traducirá en ganancias adicionales que se generan por la comercialización.

La planeación geográfica espacial, debe ser considerada como un proceso, que indique el inicio para desarrollar actividades acuícolas, donde la planificación y el manejo de los espacios y recursos acuáticos es determinante para la continuidad de los sistemas de producción acuícolas. Para la presa Malpaso, existen tres zonas definidas donde se practican actividades acuícolas, entre éstas comparten similitudes sociales y económicas; los riesgos que consideran los productores que son de mayor peso corresponden a problemas relacionados con temperatura, oxígeno y variación de los niveles del cuerpo de agua en época de estiaje, en el presente estudio los productores consideran que las actividades de manejo y enfermedades son casos con menor frecuencia.

La participación de la mujer en actividades relacionadas con el sector acuícola, evidencia y visibiliza el rol de la mujer en la cadena productiva, resultando este, mayor al estimado a nivel nacional; por lo tanto, se reconoce como estrategia de integración y cohesión social con el subsecuente empoderamiento de la mujer. La realidad numérica de la inclusión de las mujeres representa parte de los desafíos en materia de igualdad, por ello, resulta indispensable diseñar políticas públicas integrales, que atiendan las principales problemáticas y necesidades actuales del sector, a partir de conocer y entender los rasgos culturales de las comunidades que realizan la actividad, sus creencias y sistema de vida, buscando con ello, un impacto positivo en términos de bienestar.

La participación de las mujeres en el área de la Presa Malpaso, se caracteriza por que se han integrado en el sistema de producción como propietarias de unidades de producción, como encargadas de granja y de acciones específicas como administración, evisceradoras, en el área de enfermería y como alimentadoras, de lo anterior resalta la especialización para áreas de enfermería y alimentación.

El cálculo del índice de calidad de agua (ICA), en el cultivo de tilapia y sobre todo en embalses, es una herramienta de importancia significativa para que se realice la toma de decisiones en el cultivo de peces en jaulas flotantes, por ejemplo: ubicación de las jaulas, densidades de siembra, alimentación, tiempo de cultivo y disminución del factor de conversión alimenticia (FCA). Así mismo, el cálculo del ICA, es una excelente fuente de información para predecir problemas sanitarios en los cultivos asociados a las altas densidades de siembra, manejos inadecuados de organismos y algunas condicionantes de estrés en los peces.

Mediante la aplicación del modelo propuesto de ordenamiento acuícola, en función de las áreas de riesgo y potenciales, se identificó que, de las 11,000 hectáreas que conforman la presa Nezahualcóyotl, el 68% representa áreas con aptitud para el desarrollo de actividades acuícolas, determinando que el mayor porcentaje de áreas con aptitudes acuícolas que se encontraron en la zona de Apic-Pac y la zona La Venta, no se detectaron cercanas a las instalaciones de jaulas flotantes que actualmente cubren el embalse.

Las densidades de siembra apropiadas para el cultivo de tilapia en jaulas flotante son calculadas en organismos por metro cúbico de agua (m^3). Cuando las condiciones se encuentren adecuadas para el cultivo de tilapia, se podrá cultivar altas densidades (25-20 organismos/ m^3). Por el contrario, si el ICA es de mala calidad se deben de deberán emplear densidades de cultivo menores a los considerados cuando los parámetros se encuentran en buen estado. Esta propuesta matemática es apropiada y fundamentada en la calidad de agua, en contraste con la situación actual, donde consideran la densidad de siembra de manera empírica, situación que evidencia conocimientos técnicos deficientes.

Para la realización de actividades de ordenamiento, es determinante procurar la participación de todos los involucrados; acuacultores, organizaciones comunales, comerciantes, los tres órdenes de gobierno, academia y otros sectores relacionados; incluyendo actividades que permitan la capacitación y la asistencia técnica para la fase de ejecución.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Ejzman, M. (1997). *Determinación de la capacidad de carga turística en dos sitios de visita del Refugio de Vida Silvestre La Marta, e identificación de su punto de equilibrio financiero*. Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología., San Jose; Costa Rica.
- Agricultura, O. d. (2019). *La pesca*. <http://www.fao.org/fisheries/es/>.
- Altieri, M. (2002). *Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments*. Agriculture Ecosystems and Environment.
- Alvarez Morales, Y. (s.f.). Evaluacion de indicadores de sustentabilidad agricola en sistemas de producción de Baja California.
- Amador-del Angel, L., Córdoba , C., Gómez , J., Villareal, C., Valdez, S., & Cabrera , P. (2006). *Diagnóstico de las unidades femeniles de producción rural (UFPR) de mojarra de Tilapia (Oreochromis spp) en la Península de Atasta, Campeche (México)*.
- Anzueto , M., Velázquez , E., & Gómez , A. (2016). Peces de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote y presa Nezahualcóyotl (Malpaso) Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad* , 972-979.
- Astier, M., Masera , O., & Galván, Y. (2008). *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. Instituto de Agricultura ecológica y Sustentable .
- ATT Innova S. de R.L. de C.V. (2015). *Ordenamiento acuicola en el estado de Chiapas: Plan de ordenamiento y capacidad de carga de la presa Nezahualcóyotl (Malpaso) primera etapa*. Recuperado de: https://soap.conapesca.gob.mx/ordenamiento/documentos/proyectos_ordenamiento/expediente/14/13.pdf.
- Ballara, M., & Parada, S. (2009). *El empleo de las mujeres rurales: lo que dicen las cifras*. Santiago, Chile. doi:ISBN 978-92-5-306200-3

- Bautista , C., & Ruíz , J. (2011). Calidad del agua para el cultivo de Tilapia en estanques de geomembrana. *Fuente*, 10-14.
- Bautista C., J. (julio - septiembre de 2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente, Año III(8)*, 10 -14. doi:ISSN 2007 - 0713
- Bedoya Jaramillo, M., & Velásquez Correa, L. (2020). La mujer rural: Un análisis de las condiciones socioeconómicas y participación laboral de la mujer rural en Colombia. *Tesis*. Universidad EAFIT , Medellín, Colombia. Recuperado el 15 de enero de 2021, de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/16793/Mariana_BedoyaJaramillo_Lisdey_VelasquezCorrea_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Broitman, B., Halpern, B., Gelcich, S., Lardies, M., Vargas, C., Vásquez-Lavín, F., . . . Lagos, N. (Agosto de 2017). Expansión sustentable de la acuicultura y las interacciones dinámicas entre sus límites. *SalmonExpert*, 7(52), 44 -49. Recuperado el 17 de diciembre de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/320444849>
- Buschmann, A. (2001). *Impacto Ambiental de la Acuicultura*. Departamento de Acuicultura.
- Buschmann, A., Stead, R., Hernández-González , M., Pereda, S., Paredes, J., & Maldonado, M. (2013). Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86(3), 251 - 264. Recuperado el 16 de diciembre de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/3699/369944186003.pdf>
- Cabrera G., J. (2021). *Análisis de la calidad del agua a través de parámetros fisicoquímicos en tres puntos de muestreo para un proyecto acuícola*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez: UNICACH. Recuperado el 10 de febrero de 2023, de <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/4169/Janeth%20Cabrera.pdf?sequence=1>

- Calvente, A. (2007). *El concepto moderno de sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana. Sustentabilidad.
- Camarero Rioja, L., Castellanos Ortega, M., García Borrego, I., & Sampedro Gallego, R. (2006). *El trabajo desvelado. Trayectorias ocupacionales de las mujeres rurales de España*. Madrid, España: Rumagraf, S.A. Recuperado el 5 de febrero de 2021, de https://solidaridadintergeneracional.es/files/biblioteca/documentos/EI_Trabajo_Desvelado._Trayectorias_ocupacionales_de_las_mujeres_rurales_en_Espaa.pdf
- Campillos, M. (2017). *¿Qué es una batimetría y cuáles son sus aplicaciones?* ISM.
- Campos-Aranda, D. (3 de julio - septiembre de 2012). Resultados de 35 batimetrías de la región centro-noreste de México, según el Diagrama Universal de Sedimentación en Embalses de Zhide Zhou. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(III), 163-173. Recuperado el 27 de diciembre de 2022, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n3/v3n3a12.pdf>
- Carreras, D. (2015). *Acuicultura y desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/natural/opinion-analisis/20150114/54423336388/acuicultura-y-desarrollo-sostenible.html>
- Castro-Almeida, L. (mayo - agosto de 2008). La identidad como hipervínculo en la organización. *Ra Ximhai*, 4(2), 1 - 19. doi:ISSN: 1665-0441
- CEDRSSA. (2015). *La Acuicultura*. Congreso de la Nación, Cámara de Diputados, México. D.F.
- CESACH. (2020). *Informe Anual de Sanidad Acuícola en el Estado de Chiapas*. Informe Físico y Financiero 2020, Tuxtla Gutiérrez.
- Chibras, D. (septiembre-diciembre de 2015). Sustentabilidad de la Acuicultura en México: Perspectivas desde un caso de estudio en la Costa Chica de Oaxaca. *Interdisciplina* 3, 3(7), 161-191. Recuperado el 13 de marzo de 2023, de <https://docplayer.es/64431011-David-e-chibras-guillermo-sustentabilidad-de-la->

acuicultura-en-mexico-perspectivas-desde-un-caso-de-estudio-en-la-costa-chica-de-oaxaca.html

Cifuentes, M., Alpizar, F., Barroso, F., Courrau, J., Falck, L., Jiménez, R., . . . Tejada, J. (1992). *Determinación de capacidad de carga turística en áreas*. Serie Técnica. Informe Técnico No. 194, CATIE, Turrialba; Costa Rica.

CIMA. (01 de febrero de 2019). *Centro de Investigaciones Medio Ambientales*. Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <https://cimacanarias.com/2019/02/01/las-batimetrías-y-su-importancia/>

CMMAD, C. (1987). *Informe (Nuestro futuro común)*. CMMAD.

Cochrane, K. (2000). *Plan de acción internacional para la ordenación de la capacidad pesquera*. Roma, Italia: FAO. Recuperado el 17 de octubre de 2020, de <https://www.fao.org/3/x3170s/x3170s00.htm>

Compagnucci, L. (2011). *Acuicultura sustentable: una alternativa para Argentina. Producción Acuícola*. Recuperado el 20 de diciembre de 2020, de https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/148-ACUICULTURA_SUSTENTABLE.pdf

CONABIO. (2013). *La biodiversidad en Chiapas*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/274698982_Estado_actual_de_la_pesca_y_la_acuicultura

CONAPESCA. (2015). *CONAPESCA*. Recuperado el 15 de MARZO de 2021, de CONAPESCA: https://soap.conapesca.gob.mx/ordenamiento/documentos/proyectos_ordenamiento/expediente/14/13.pdf

CONAPESCA. (2015). *Políticas de ordenamiento para la pesca y acuicultura sustentables* (Primera ed.). Mazatlán, Sinaloa, México: Talleres Gráficos de Mexico.

CONAPESCA. (17 de septiembre de 2018). *Crecen anualmente más de 10 por ciento pesca y acuicultura en México en los últimos seis años*. (CONAPESCA)

Recuperado el 20 de noviembre de 2020, de Gobierno de México - Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca: Recuperado de: <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/crecen-anualmente-mas-de-10-por-ciento-pesca-y-acuacultura-en-mexico-en-los-ultimos-seis-anos-sagarpa-174898#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20pesquera%20y%20acu%C3%ADcola%20nacional%20registrada%20entre%20e>

CONAPESCA. (2020). *Programa Nacional de Pesca y Acuacultura 2020 - 2024*. Mexico: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

CONAPESCA. (2021). *Anuario Estadístico de Pesca y Acuacultura*. Anuario Estadístico, Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación, Sinaloa. Recuperado el 5 de mayo de 2023, de https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2021/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2021.pdf

CONAPESCA. (2022). *Datos estadísticos de producción de crías de mojarra en México de 2014–2021*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Sistema informático de Pesca y Acuacultura. Mazatlán, Sinaloa: Sipesca. Recuperado el 5 de mayo de 2023, de <https://sipesca.conapesca.gob.mx>.

Coreas-Madrid, A., Rodríguez-Urrutia, E., Gutiérrez-Salguero, J., & Flores-Tensos, J. (enero - junio de 2022). Evaluación de diferentes densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en estanques artesanales de agua dulce en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador. *Agrociencia*, V(21), 16 - 23. doi:ISSN 2522-6509

Coronado A., M., Perera C., M., Bianchi R., V., Matú S., M., & Cohuo A., M. (Mayo de 2019). Técnicas de minería de datos para la reducción de costos en la automatización del proceso de cultivo de tilapia. *Multidisciplinas de la Ingeniería*, Año VII(9), 1 - 9. doi:EISSN: 2395-843X.

DDR. (1974). *El Salvador - Zonificación Agrícola - Fase I*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea34s/begin.htm#Contents>

- De la Cruz P, E., & Mayo G., M. (2015). *Efecto de la toxicidad aguda del amonio y nitrito en larvas en condiciones de laboratorio*. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Nacional del Santa. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/2752/26302.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DOF. (30 de 12 de 2020). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 26 de septiembre de 2021, de Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020 - 2024: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020
- Espinosa Plascencia, A., & Bermúdez Almada, M. (2012). La Acuicultura y su impacto al medio ambiente. *Estudios Sociales*(segundo especial), 219 - 232. Recuperado el 17 de diciembre de 2020, de https://www.ciad.mx/archivos/revista-dr/RES_ESP2/RES_Especial_2_10_Bermudez.pdf
- FAO. (1994). *Administración y gerencia en Acuicultura*. México: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado el 15 de enero de 2021, de <https://www.fao.org/3/ab480s/AB480S06.htm>
- FAO. (2002). *Papel de la Acuicultura en el Desarrollo Rural*. Beijing: Organización de las Naciones Unidas para para la Agricultura y la Alimentación. Obtenido de <https://www.fao.org/3/Y3018S/Y3018S.htm>
- FAO. (5 de Agosto de 2005). *Vision general del sector acuicola nacional - México*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Departamento de Pesca y Acuicultura. México: FAO - México. Recuperado el 5 de agosto de 2021, de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es
- FAO. (2016). *El rol de la mujer en la pesca y la acuicultura*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). doi:ISSN: 5731S/1/01.16
- FAO. (2017). <http://datamares.ucsd.edu/stories/mujeres-en-la-pesca/?lang=es>. Obtenido de <http://datamares.ucsd.edu/stories/mujeres-en-la-pesca/?lang=es>

- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. doi:Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- FAO. (2019). *La pesca*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2020, de <http://www.fao.org/fisheries/es/>
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- FAO. (2021). *Declaración de 2021 del comité de pesca en favor de la pesca y la acuicultura sostenible*. Roma. doi:<https://doi.org/10.4060/cb3767es>
- Fawaz Yissi, J., & Soto Villagrán, P. (enero - junio de 2012). Mujer, Trabajo y Familia. Tensiones, rupturas y continuidades en sectores rurales de Chile Central. *La Ventana*, 4(35), 218 - 254. doi:ISSN 1405-9436
- Feest, P., Briceño, F., & Gutiérrez, X. (2020). *Calidad de Agua*. Norwegian Institute for Water Research (NIVA) Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de https://www.researchgate.net/profile/Felipe-Briceno/publication/339130123_Calidad_de_agua/links/5ee01c9b45851516e665862d/Calidad-de-agua.pdf
- FIPA. (2017). *Realización de Estudios Batimétricos de Amplia Cobertura en Apoyo a Estudios de Modelación (Región de los Lagos)*. Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Santiago de Chile: BENTOS. Recuperado el 05 de noviembre de 2022, de chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-94152_informe_final.pdf
- FIRA. (14 de marzo de 2019). *Red Tilapia México*. Recuperado el 28 de septiembre de 2021, de <https://www.redtilapiamexico.com/perspectivas-en-la-industria-del-cultivo-de-tilapia-en-mexico-ii/>

- FOESA. (2010). *Definición de indicadores de sostenibilidad en la acuicultura mediterránea*. Madrid, España: Fundación Observatorio Español de Acuicultura. doi:ISBN: 978-84-937611-2-7
- FONDEPES. (2004). *Manual de Cultivo de Tilapia*. (A. Palomino R., Ed.) Lima, Perú: Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de https://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_tilapia.pdf
- Frías-Espericueta, M., Aguilar-Juárez, M., Osuna-López, I., Abad-Rosales, S., Izaguirre-Fierro, G., & Voltoliina, D. (2011). Los metales y la camaronicultura en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 217 - 228. Recuperado el 10 de enero de 2021, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v21n3/v21n3a1.pdf>
- Gallopin, G. (1996). *Environmental and sustainability Indicators and the Concept of Situational Indicators. A System Approach*. Environmental Modeling and Assessment .
- Gallopin, G. (1997). *Indicators and Their Use: Information for Decision-Making. Part One - Introduction*. (B. a. Moldan, Ed.) Wiley, Chichester: Scope. Recuperado el 15 de enero de 2021, de file:///E:/Downloads/texto_21.pdf
- García O., G. (2018). *Evaluación de las Características Fisicoquímicas*. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente, Programa de Ingeniería Ambiental. Bogota, Colombia: NEIVA. Recuperado el 5 de marzo de 2023, de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20945/gegarciao.pdf;jsessionid=CD217557AC8C2B45A8630420EC233A27.jvm1?sequence=1>
- Gray, E. (2012). *La importancia y aplicación de la batimetría*. Tecnoceano.
- Greaves Fernández, N. (2015). La acuicultura: una alternativa para garantizar una seguridad alimentaria sustentable. *Hospitalidad ESDAI*(28), 61 - 78. Recuperado el 20 de diciembre de 2020, de <https://revistas.up.edu.mx/ESDAI/article/view/1483>

- Gutiérrez, N. (2014). *Calidad del agua en acuicultura*. Agricultura y desarrollo rural. Recuperado de: <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-acuicola-y-pesquero-e-inocuidad/519#:~:text=La%20calidad%20del%20agua%20de,buen%20desarrollo%20de%20los%20organismos>.
- Guzmán Amaya, P., & Fuentes Castellanos, D. (2006). *Pesca, acuicultura e investigación en México* (Primera ed.). México, México: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. doi:ISBN 970-9764-05-5
- INAPESCA. (2006). *Propuesta de plan de manejo para la pesquería de pelágicos menores*. México: Dirección General de Investigación en Evaluación y Manejo de Recursos Pesqueros.
- INAPESCA. (2021). *Capacidad de carga de la presa Belisario Domínguez (La Angostura)* (1a ed.). Ciudad de México: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. doi:ISBN: 978-607-8274-26-0
- INECC. (2017). La Cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta. En I. N. Climático. Recuperado el 5 de febrero de 2022, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/402/cuencas.html>.
- INEGI. (2014). Recuperado el 2021
- INEGI. (2019). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de Actividades Económicas Primarias - Pesca y Acuicultura: <http://cuentame.inegi.org.mx/Economia/primarias/pesca/default.aspx?tema=E>
- INMUJER. (15 de octubre de 2019). *Instituto Nacional de las Mujeres*. Recuperado el 17 de octubre de 2020, de Día Internacional de la Mujer: <https://www.gob.mx/inmujeres/articulos/las-mujeres-rurales-agentes-clave-para-el-desarrollo-sostenible>
- Instituto de Ingeniería UNAM. (2002). Obtenido de <http://www.ii.unam.mx/es-mx/Investigacion/Proyecto/Paginas/PuenteChiapas.aspx>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. (31 de Diciembre de 2016). *Mapa*. Obtenido de Climatología: <https://www.inegi.org.mx>
- Inteligencia Publica, EDF de México. (2019). *"Impacto Social de la Pesca Ribereña en México: Propuestas para impulsar el bienestar social en el sector pesquero."*. (E. Roa, Ed.) México. Recuperado el 15 de agosto de 2021, de <https://mexico.edf.org/sites/mexico.edf.org/files/ImpactoSocialdeLaPescaenMexico.pdf>
- Jin, L., & Andrew, H. (2008). A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia Record*(23).
- Juárez-Palacios, R. (1987). La acuicultura en México, importancia social y económica. (S. d. Pesca, Ed.) *Desarrollo Pesquero*, L11: 219 - 232.
- Kubitza , F. (2010). *Los caminos para una acuicultura sustentable* . Dirección de acuicultura .
- Larrouyet, M. (2015). *Desarrollo sustentable: origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta*. Universidad Nacional de Quilmes .
- Leyva Castellanos, A., & Baez Puerta, T. (2014). El mar como organizacion social en el norte de México: Caso de la acuicultura en Guasave, Sinaloa. *FAVE . Ciencias Agrarias*(13). Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/283538380_El_mar_como_organizacion_social_en_el_norte_de_Mexico_caso_de_la_acuicultura_en_Guasave_Sinaloa
- Lopez E, I., & López-Sagástegui, R. (30 de julio de 2021). *datamares.org*. Obtenido de : InteractiveResource.: <https://doi.org/10.13022/M30K9N>
- Luchini, L. (2006). *Tilapia: Su cultivo y sistema de producción*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos , Dirección de Acuicultura. Argentina: Panorama Acuícola. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos//000000_Especies/000008-

Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20(Parte%2001).pdf

Luchini, L., & Panné Huidobro, S. (2008). *Perspectivas en acuicultura: nivel mundial, regional y local*. Argentina: Dirección de Acuicultura - Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Recuperado el 15 de enero de 2021, de [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/081110_Perspectivas%20en%20acuicultura%20\(nivel%20mundial,%20regional%20y%20local\).pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/081110_Perspectivas%20en%20acuicultura%20(nivel%20mundial,%20regional%20y%20local).pdf)

M.Y., Á. (2015). Evaluación de indicadores de sustentabilidad. En *Evaluación de indicadores de sustentabilidad*.

Macswiney, F., Yoshio, I., Martínez, B., & Santamaría, J. (2015). *Principales parásitos en la trucha arcoiris (oncorhynchus mykiss) en el Estado de Michoacán*. Divulgación acuícola .

Magallón Barajas, F., & Villareal Colmenares, H. (2007). *Desarrollo Sustentable de la Acuicultura en México - Orientaciones Estratégicas*. La Paz, Baja California Sur, México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Recuperado el 17 de Diciembre de 2020, de <http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/2987/1649%20DESARROLLO%20SUSTENTABLE%20DE%20LA%20ACUACULTURA%20EN%20MEXICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mancera-Rodríguez, N. (2001). Ordenamiento pesquero: una necesidad ineludible. *Economía Colombiana y Conyuntura Política*, 286, 84 - 91. Recuperado el 15 de marzo de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/296484886_Ordenamiento_pesquero_una_necesidad_ineludible/link/56d5c29708aebabdb4004e27/download

Marín Guardado, G. (20 de julio de 2007). Pesca artesanal, comunidad y administración de recursos pesqueros. *Gazeta de Antropología*, 23(20). Recuperado el 25 de

septiembre de 2021, de
https://www.ugr.es/~pwlac/G23_20Gustavo_Marin_Guardado.pdf

Martínez-Córdova, L., Martínez Porchas, M., & Cortés-Jacinto, E. (2009). Camaronicultura Mexicana y Mundial: ¿Actividad Sustentable o Industria Contaminante? *Revista Internacional Contaminacion Ambiental*, 3(25), 181 - 196. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a6.pdf>

Martín Mendoza, A. (2006). La acuicultura como estrategia de desarrollo de zonas costeras y rurales de México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 2(3), 769 - 793. doi:ISSN: 1665-0441

Méndez Prieto, J., González Ramírez, C., Román Gutiérrez, A., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29 - 44. doi:E-ISSN: 1870-0462

Mendoza R., D. (2017). Factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de la Acuicultura. *Colegio de Ingenieros del Perú*. Lima, Perú. Recuperado el 12 de octubre de 2022, de <https://www.slideshare.net/dmendozaar1/factores-que-influyen-en-el-crecimiento-y-desarrollo>

Mingo Acuña Anzorena, M. (diciembre de 2014). Desde la voz de las mujeres. invisibilización, aprendizaje y oficio de las obreras agroindustriales. *Athenea Digital*, 14(4), 319 - 328. doi:ISSN: 1578-8946

Monfort, M. C.-L. (2018). Recuperado el 2021, de <http://datamares.ucsd.edu/stories/mujeres-en-la-pesca/?lang=es>

MPS AC. (2012). *Recursos Naturales. Desarrollo Sustentable y Territorios Indigenas de Chiapas*. Maderas del Pueblo del Sureste AC. Recuperado el 10 de Septiembre de 2021, de https://www.nacionmulticultural.unam.mx/edespich/images/diagnostico_y_perspe

ctivas/Economia_sociedad_y_desarrollo/Recursos_naturales_y_desarrollo_suste
ntable/ensayo_recursos_naturales,_desarrollo_territorios_indigenas_chiapas.pdf

Noguez E., J., Alvarez P., B., Martínez J. , E., Rodríguez M., N., Vargas M. , J., & Sifuentes S., D. (2021). Características físico-químicas del agua para la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en condiciones de presa en el rancho UMA "Agua Bendita". En U. P. Madero, *Agrotecnología: Desarrollo y Gestión de Sistemas Agropecuarios* (Primera ed., págs. 121 - 132). Francisco I. Madero, Hidalgo, México: Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. doi:ISBN: 978-607-9260-25-5 E-BOOK

OMM. (2006). *Gestión Integrada de Crecientes*. Caso de estudio, Organización Meteorológica Mundial, Programa Asociado de Gestión de Crecientes, México. Recuperado el 5 de mayo de 2023, de https://www.floodmanagement.info/publications/casestudies/cs_mexico_full.pdf

Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J., & Godínez-Siordia, D. (Septiembre-Octubre de 2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19 - 25. doi:0.15174/au.2017.1231

Orozco Gutierrez, M. (2004). *La Pesca en Chiapas*. Informe, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Recuperado el 01 de Septiembre de 2021, de <https://cofemersimir.gob.mx/expediente/4924/mir/13916/anexo/493892>

Ovando, M. (2013). *La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente*. Innovación más desarrollo.

Pérez Torres, R. (17 de noviembre de 2022). *El Economista*. Obtenido de <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Impulso-a-la-pesca-y-la-acuicultura-en-Chiapas-20221116-0122.html>

Platas, D., & Vilaboa, J. (2014). La acuicultura mexicana: Potencialidad, retos y áreas de productividad. *Revista Mexicana de Agronegocios*, Vol. 35.

- Ramírez, H., Luna, V., & Arredondo, J. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 93-99.
- Rangel Díaz, J., Arredondo García, M., & Espejel, I. (noviembre de 2017). ¿Estamos investigando la efectividad de las certificaciones ambientales para lograr la sustentabilidad acuícola? *Sociedad y Ambiente*, 5(15), 7 - 37. doi:ISSN: 2007-6576
- Regal Springs México. (19 de abril de 2018). *Blog de Acuicultura*. (R. S. México, Editor) Recuperado el 21 de enero de 2021, de <https://www.regalsprings.com.mx/2018/04/19/acuicultura-historia-en-mexico/#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20la%20acuicultura%20ha,394%20mil%20toneladas%20de%20producto>
- Rodríguez Garcés, C., & Valenzuela Orrego, M. (2019). La inactividad laboral como invisibilización del trabajo femenino: aportes a la nueva cartografía del. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 16(83). doi:<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr16-83.ilit>
- Rodríguez, D. (2017). *Intoxicación ocupacional por metales pesados*. Scielo.
- Rodríguez, H. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. *CO-BAC*, 43-74.
- Rodríguez, H., & Anzola, E. (2016). *La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura*. Library.
- Rojas-Carrillo, P., & Aguilar-Ibarra, A. (noviembre de 2012). Estimación de la capacidad de carga en el cultivo de Peces en jaulas en el Lago Pátzcuaro, México. *Ciencia Pesquera*, 20(2), 23-24. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/REVISTA/Nov12/Estimacion%20de%20la%20capacidad%20de%20carga%20en%20el%20cultivo%20de%20peces%20en%20jaulas%20en%20el%20Lago%20de%20Patzcuaro,%20Mexico.pdf>

Romero-Beltrán, E., Rendon-Martínez, J., Gaspar-Dillanes, M., Osuna-Bernal, D., Romero-Correa, A., Falcón-Rodríguez, J., . . . Mauricio-Payán, J. (2020). *Estimación del estado trófico, balance de nitrógeno-fósforo y capacidad de carga de la presa hidroeléctrica Ing. Fernando Hiriart Balderrama "Zimapán", Qro.-Hgo.* Informe de Investigación, Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, Ciudad de México. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD006736.pdf>

Rosales-Flores, K. (2015). *Calidad de agua y capacidad de carga en la Presa Lic. Adolfo Lopez Mateos "El Infiernillo", Michoacan, México, sitio propicio para el cultivo de Tilapia (O. niloticus).* Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Facultad de Biología. Michoacan: Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/1735/1/FB-M-2015-0778.pdf

Saavedra M. , M. (2006). *Manejo del Cultivo de la Tilapia.* Centro de Investigación de Ecosistemas Acuáticos. Managua, Nicaragua: CIDEA. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>

SADER. (16 de julio de 2020). *Gobierno de México - Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.* (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) Recuperado el 21 de octubre de 2020, de Un sector pesquero bien ordenado: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/un-sector-pesquero-bien-ordenado?idiom=es>

SAGARPA. (2010). *Programa Nacional de Ordenamiento Acuícola - Una visión integrada de la Acuacultura en México.* D.F., México: Dirección General de Ordenamiento Pesquero y Acuícola. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104659/2_Programa_Nacional_Ordenamiento.pdf

SAGARPA. (2014). *Programa de Ordenamiento por Pesquería*. D.F., México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado el 6 de octubre de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/93951/Programa_de_Ordenamiento_por_Pesquer_a_2014.pdf

Sánchez Sotomayor, V. (2019). *¿Qué significa sustentabilidad?* Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas. Baja California Sur: Direccion del Area de Proteccion de Flora y Fauna "Valle de los Cirios". Recuperado el 10 de Diciembre de 2020, de https://ceiba.org.mx/publicaciones/Consejo%20Editorial/190501_QuéeslaSustentabilidad_VictorSS.pdf

Sandoval P., R. (2015). *Comparación física y nutricional de cuatro alimentos balanceados extrusados comerciales utilizados en la fase de engorde de tilapia (Oreochromis nilótica) en Guatemala*. Universidad San Carlos, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Guatemala: USC. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2299/3/Tesis%20Lic%20Zoot%20Rolando%20Sandoval.pdf>

Senior, W. (2016). Contenido de metales pesados en organismos acuícolas expendidos en los mercados de la ciudad de machala, provincia del oro. UPSE, 2-17.

Scheaffer, R., Mendenhall, W., & Ott, L. (1986). *Elementos de muestreo* (Tercera ed.). Estados Unidos: PWS Publisher. Recuperado el 18 de febrero de 2020, de https://issuu.com/hectorm.delossantos-posadas/docs/elementos_de_muestreo_-_schaffer_et

Secretaría de Economía de México. (20 de Diciembre de 2020). *Informacion arancelaria*. Obtenido de Sistema de Información Arancelaria Vía Internet: www.economia-snci.gob.mx

Secretaría de Hacienda. (2007). *haciendachiapas.gob*. Obtenido de haciendachiapas.gob:

- http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Programacion_Sectorial/Programas_Institucionales/pdfs/6PROG_%20INST_PESCA_030907.pdf
- SEMAR. (2020). *Derrotero Pacífico Mexicano*. Publicación Náutica, Secretaría de Marina, Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología, México. Recuperado el 17 de julio de 2020, de <https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/derrotero%20pacifico%20completo.pdf>
- SIAP. (2019). *Atlas Agroalimentario 2019*. México, México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 15 de octubre de 2021, de https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- SIAP. (20 de Diciembre de 2020). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.siap.gob.mx/>
- SIAP, S. (2019). *Atlas Agroalimentario 2019*. Recuperado de: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/.
- SustainAqua. (2009). *Manual de acuicultura sostenible*. Madrid, España. doi:Project N°: COLL-CT-2006-030384
- Tejeda , A. (2015). *La importancia del desarrollo sustentable* . Emprendices .
- Tellez Castañeda, M. (2019). Perspectiva en la industria del cultivo de tilapia en México. (FIRA, Ed.) *Agronegocios*. Recuperado el 25 de junio de 2021, de <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Perspectivas-en-la-industria-del-cultivo-de-tilapia-en-Mexico-20190311-0099.html>
- Torres , A., Martínez , B., & Mendoza , M. (1999). *Desarrollo de la acuicultura en México y perspectivas de la Acuicultura rural*. Recuperado de: <http://cesaem-morelos.org/descargas/DesarrolloAcuiculturaenMexico.pdf>.
- UNAM. (01 de diciembre de 2002). *Instituto de Ingeniería UNAM*. (Mecánica Aplicada / Estructuras y Materiales, Editor, R. Martínez, D. Muria Vila, R. Sánchez Ramírez, J. Escobar Sánchez, Productores, & Instituto de Ingeniería UNAM) Obtenido de

Puente Chiapas: <http://www.ii.unam.mx/es-mx/Investigacion/Proyecto/Paginas/PuenteChiapas.aspx>

Urías-Sotomayor, R., Maeda-Martínez, A., Garza-Torres, R., García-Morales, R., & Navarro-Murillo, R. (2022). Análisis de la producción de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en instalaciones acuícolas en México de 2014-2021. *Aqua Technica*, 4(1), 1 - 6. doi: <https://doi.org/10.33936/at.v4i1.4369>

Valencia V., L. (2022). *Factores asociados a la mortalidad atípica de tilapia (Oreochromis spp.) en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas*. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez; Chiapas: UNACH. Recuperado el 10 de febrero de 2023

Varsavsky , A., & Fernández , D. (2021). *Acuicultura y metales pesados*. Agricultura .

Vázquez Astudillo, B. (noviembre - diciembre de 2014). La mujer en la acuicultura. *El Cotidiano*(188), 111 - 112. doi:ISSN: 0186-1840

Warningsih, T., Setiyanto, D., Fahrudin, A., & Adrianto, L. (2016). Carrying capacity of Koto Panjang reservoir's ecosystem provisioning services for floating net cage culture (FNC). *International Journal of Research in*, 4(1), 30-35. Recuperado el 13 de marzo de 2023, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/674441/Capacidad_de_carga_presa_la_angostura_2.pdf

Zarta Avila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*(28), 409 - 423. doi: <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>

VII. ANEXOS

Anexo 1

Tabla 9.

Producción Pesquera Nacional 2018

Estado	Peso vivo (Ton)	Peso desembarcado (Ton)	Precio (\$/kg)	Valor de la producción (miles de pesos)
Total	2,159,650	1,998,839		41,728,466
Aguascalientes	153	152	22	3,311
Baja California	185,699	161,138	12	1,963,536
Baja California Sur	191,616	171,242	17	2,878,625
Campeche	69,026	66,969	27	1,830,799
Chiapas	61,232	60,615	22	1,330,180
Chihuahua	1,123	1,067	33	35,077
Coahuila	1,720	1,652	16	26,800
Colima	29,852	29,634	25	729,730
Durango	1,089	1,072	31	33,463
Guanajuato	2,192	2,192	12	25,572
Guerrero	24,491	24,120	27	642,346
Hidalgo	8,645	8,552	25	216,937
Jalisco	56,878	56,297	18	990,485
México	22,253	22,235	31	679,400
Michoacán	32,650	31,777	21	661,798
Morelos	409	409	109	44,650
Nayarit	78,946	76,429	38	2,935,323
Nuevo León	406	395	30	11,715
Oaxaca	17,673	16,981	29	494,661
Puebla	4,115	4,102	60	247,704
Querétaro	769	769	25	19,201
Quintana Roo	3,571	3,188	57	181,839
San Luis Potosí	4,575	4,491	19	84,879
Sinaloa	347,380	326,502	33	10,619,879
Sonora	741,112	661,385	12	7,898,385
Tabasco	50,913	50,902	16	835,874
Tamaulipas	55,213	54,196	33	1,787,887
Tlaxcala	493	493	20	9,864

Veracruz	103,913	103,081	20	2,058,995
Yucatán	58,170	53,428	45	2,402,116
Zacatecas	3,375	3,375	14	47,436

Cifras preliminares.

Nota: Estados cuya producción es de acuacultura; Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, México, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Zacatecas.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con datos de la CONAPESCA.

Anexo 2

Tabla 10.

Producción pesquera Chiapas 2018

Especie	Peso (Ton)	vivo	Peso desembarcado (Ton)	Precio (\$/kg)	Valor de la producción (miles de pesos)
Total	61,232.27		60,614.81		1,330,180
Almeja	4.19		4.19	50	210
Atún	17,664.31		17,664.31	26	465,455
Bagre	492.12		481.49	17	8,181
Bandera	251.12		251.12	22	5,405
Baqueta	1.78		1.78	39	70
Barrilete	2,324.81		2,324.81	6	13,953
Berrugata	283.18		283.18	19	5,432
Besugo	29.12		29.12	17	507
Cabrilla	30.80		30.80	22	677
Camarón	1,092.98		942.12	100	94,218
Carpa	17.73		17.73	11	191
Cazón	31.74		31.74	17	544
Corvina	104.50		104.50	18	1,853
Fauna	4.03		3.50	5	18
Fauna De Acompañamiento	217.32		217.32	5	990
Guachinango	397.86		397.71	25	9,836
Jaiba	478.49		478.49	19	9,065
Jurel	260.79		260.79	11	2,881
Langostino	0.34		0.34	90	31
Lebrancha	26.59		26.59	21	555
Lenguado	22.12		22.12	16	359
Lisa	325.52		325.52	26	8,499
Mero	148.68		148.68	28	4,224
Mojarra	28,229.62		27,788.14	20	551,884
Otras	895.95		891.48	15	13,601
Pargo	184.12		183.56	32	5,807
Raya y similares	114.92		114.92	15	1,694
Robalo	393.84		393.55	36	14,266
Rubio	2.60		2.60	26	68
Sierra	360.66		360.66	21	7,690

Tiburón	6,840.44	6,831.96	15	102,016
---------	----------	----------	----	---------

Cifras preliminares.

Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con datos de la CONAPESCA.

Anexo 3

Herramienta metodológica aplicada



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Dirección General de Investigación y Posgrado DES

Ciencias Agropecuarias



Ordenamiento espacial para la acuicultura sustentable de tilapia (*Oreochromis spp*), en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas

La siguiente entrevista servirá de base para obtener datos que permitirán conocer la situación actual de la unidad de producción, la información que proporcione será estrictamente confidencial y utilizada para fines académicos sin mención o uso de ningún motivo ajeno a lo académico de los datos proporcionados.

Descripción general de la UPA (Tilapia)

1. Nombre completo del acuicultor _____
2. Ubicación de la UPA (Unidad de Producción Acuícola) _____
3. ¿Si cuenta con alguna otra especie que explote en la UPA? (especifique la especie)
Bovino___ Ovino___ Equino___ Apícola___ Aves___ Cunicola___ Porcinos___
4. Fuera de la actividad Acuícola ¿Que otra actividad económica realiza?

5. ¿Tiene trabajadores en la UPA? Si___ No___
6. ¿Cuántos trabajadores tienen en la UPA? _____
Eventual _____ Permanente _____ No utiliza___
7. ¿Ha escuchado hablar del concepto de sustentabilidad? Si___ No___
8. ¿Ha escuchado usted sobre los Objetivos del Desarrollo Sostenible? Si___ No___

Infraestructura

Objetivo: Identificar los elementos de infraestructura con los que cuenta la UPA.

9. Superficie aproximada de la Unidad de producción _____
10. La producción se desarrolla en jaulas de: (ESPECIFICAR CANTIDAD):
3x3 _____

3x6 _____

6x6 _____

12X12 _____

11. ¿Cuenta con alguna bodega para almacenamiento de alimento? Si _____ No _____
12. La Unidad de Producción ¿cuenta con servicio de luz eléctrica? Si _____ No _____
13. La Unidad de Producción ¿cuenta con drenaje? Si _____ No _____
14. La Unidad de Producción ¿cuenta con agua potable? Si _____ No _____
15. La Unidad de producción cuenta con instalaciones sanitarias como; baño _____, letrinas _____, lavabos _____, regaderas _____, áreas de limpieza _____?
16. ¿Cuáles son los implementos y artes de pesca con los que cuenta la explotación?

Alimentación

Objetivo: Identificar los métodos de alimentación utilizados en las unidades de producción.

17. ¿Utiliza alimento comercial? Sí _____ No _____
18. ¿De qué marca? _____
19. ¿Lo compra acorde a etapas o utiliza el mismo para todos los organismos? _____
20. ¿Cuánto alimento expresado en toneladas ofrece a los organismos en promedio por mes? _____
21. ¿Cada cuánto tiempo compra? mensual _____ bimestral _____ Otro _____
22. ¿Lleva el registro de la compra del alimento e identificación del lote? Si _____ No _____
23. ¿En qué condiciones lo almacena? Bodega _____ intemperie _____ botes _____ sobre tarimas y lonas _____
24. ¿Utiliza alguna alternativa de alimentación? Sí _____ ¿cuál? _____ No _____
25. ¿Suministra alimentos medicados? Sí _____ ¿cuál? _____ No _____

Sanidad

Objetivo: Identificar los aspectos fundamentales que permiten señalar las causas de desequilibrio en la salud de los peces.

26. ¿Se encuentra cercana a la Unidad de producción alguna fuente de contaminación proveniente de actividades agrícolas, ganaderas o industriales? Sí _____ ¿cuál? _____ No _____ No sabe _____
27. ¿Cuenta con algún programa de control de plagas que incluya la prevención, control y erradicación de las mismas? Sí _____ ¿cuál? _____ No _____
28. ¿Qué hace con los peces muertos y vísceras que se colectan en cualquier etapa de la producción?
Fosa de desechos _____ Se tiran al cuerpo de agua _____
29. ¿Qué enfermedades se presentan con mayor incidencia en su explotación?
Bacterianas _____ Parasitarias _____ Hongos _____

30. ¿Cuánto calcula en peso de pérdidas por mortalidad el último año de producción? (Kilos) _____

Manejo

Objetivo: Identificar los métodos y técnicas empleadas en el manejo general de los recursos disponibles en la Unidad de Producción Acuícola.

31. La unidad de Producción encamina sus actividades a:
Engorda _____ Producción de Cría _____
32. ¿En qué tiempo se lleva a cabo la cosecha?
3 meses _____ 4 meses _____ 5 meses _____ 6 meses _____ Más de 6 meses _____
33. ¿Cuántos ciclos por año maneja en su Unidad de producción?

34. ¿En qué mes o meses del año considera que es más eficiente la producción?

35. ¿En qué mes o meses del año considera que es más baja la producción?
36. _____
37. Cuando realiza la cosecha, ¿Cómo lo hace de manera parcial o total?
38. _____
39. ¿En qué lugar sacrifica las Tilapias? _____
40. ¿Cómo transporta su producto final? _____

Genética y Reproducción

Objetivo: Identificar las actividades realizadas en el manejo reproductivo.

41. ¿De dónde (lugar) obtiene sus alevines?

42. ¿Son organismos hormonados? Sí _____ No _____ No sabe _____

Economía y Comercialización

Objetivo: Identificar las prácticas de manejo económico que se realizan en la UPA.

43. ¿De dónde obtiene el mayor ingreso económico de su UPA?

44. ¿Cuáles son los productos que se generan en la unidad de producción?

45. ¿Da valor agregado a los productos? Sí _____ No _____
46. ¿Cómo vende el producto? Viva _____ Canal _____ Procesado _____
47. ¿Precio de venta actual del pescado? Vivo _____ Canal _____ Fileteado _____
48. ¿A quién le vende?
 Mercado local _____ Municipios vecinos _____ Estados vecinos _____ Exportación _____
49. ¿En qué mes o meses del año considera que es más eficiente la comercialización?

50. ¿Cuántas toneladas por año produce? _____
51. De acuerdo a su experiencia, ¿qué problemas (Infraestructura, Alimentación, Sanidad, Manejo, Genética y Reproducción, Economía y Comercialización), considera usted que se deben resolver en su unidad de producción?

Marcar en orden de prioridad

- a) Infraestructura b) Alimentación c) Sanidad d) Manejo e) Genética y Reproducción f) Economía y Comercialización
