



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
CAMPUS V

**Estudio de la mortandad acuícola en la presa Nezahualcóyotl,
Chiapas**

TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
TROPICAL**

Presenta

Dulce Noelia Peña Cano PS2091

Director de tesis

Dra. Mariela Beatriz Reyes Sosa

Codirector de tesis

MC. Francisco Vázquez Ramírez

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; agosto de 2023



Villaflores, Chiapas
04 de agosto de 2023
Oficio N° FCACV/D/777/23

ING. DULCE NOELIA PEÑA CANO
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS *CAMPUS V*
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“Estudio de la mortandad acuícola en la presa Nezahualcóyotl, Chiapas”**, por este medio 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.

A T E N T A M E N T E
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”



M.C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA
D I R E C T O R

C.c.p. ARCHIVO

CAVS*ymc

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres y hermano por el apoyo incondicional que me brindaron desde el inicio de mi desarrollo profesional y personal, siempre me han impulsado a cumplir mis objetivos y sueños, han sido la mejor guía de mi vida.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) y al Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas, A.C. (CESACH), quienes fueron los organismos financiadores de este proyecto de investigación, que permitieron concluir satisfactoriamente este trabajo.

A la Dra. Mariela Beatriz Reyes Sosa, directora de tesis, a quien agradezco la paciencia, el tiempo y el apoyo, además, del poder compartirme sus conocimientos para poder hacer crecer este trabajo, agradezco plenamente cada uno de sus consejos.

Al M.C. Francisco Vázquez Ramírez, codirector de tesis, agradezco el acompañamiento y la confianza que tuvo en mí desde el inicio de esta importante etapa, agradezco cada uno de sus consejos, ideas y tiempo que brindo para el enriquecimiento de este trabajo, al igual que sus palabras de aliento para continuar y concluir.

Agradezco a cada uno de mis asesores al Dr. Mario Hidalgo Ruiz, al Dr. Manuel Alejandro la O Arias y Dr. Hernán Orbelín Mandujano, quienes con su apoyo y confianza permitieron culminar el presente trabajo.

A la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) que me ha permitido crecer profesionalmente, al igual, agradezco a cada uno de los directivos y profesionales de la honorable casa de estudios por su valiosa gestión.

Quiero agradecer a cada uno de los productores acuícolas de la presa Nezahualcóyotl, quienes me apoyaron y compartieron cada una de sus experiencias para obtener un mejor trabajo.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación	3
1.2 Justificación.....	5
II. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos	6
2.3 Pregunta de investigación	6
2.4 Hipótesis.....	6
III. REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1 Producción acuícola a nivel mundial	7
3.1.1 Producción acuícola en México.....	9
3.1.2 Producción acuícola en Chiapas.....	11
3.2 Producción acuícola de tilapia	12
3.3 Impacto en la calidad del agua por actividades acuícolas.....	15
3.4 Calidad del agua para la producción acuícola	18
3.5 Medición de parámetros físico-químicos.	20
3.5.1 Principales parámetros físicos - químicos en la acuicultura	20
Temperatura.....	20
Amonio.....	21
Potencial de Hidrógeno (pH).....	22

Oxígeno disuelto (OD).....	22
Nitratos y Nitritos.....	24
3.6 Patógenos en tilapia.....	25
Parásitos en tilapia.....	26
Hongos en tilapia.....	26
Virus en tilapia.....	26
3.6.1 Enfermedades bacterianas en tilapia.....	27
3.6.2 Bacterias Gram positivas en tilapias.....	28
<i>Streptococcus spp.</i>	28
<i>Staphylococcus spp.</i>	29
3.6.3 Bacterias Gram negativas en tilapias.....	29
<i>Aeromonas spp.</i>	29
<i>Pseudomonas spp.</i>	30
3.7 El uso de antibióticos en la acuicultura.....	30
3.8 Bioseguridad en la acuicultura.....	32
3.8.1 Sanidad Acuícola.....	33
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
4.1 Zona de estudio	34
4.2 Registro de datos y muestreo	35
4.3 Variables a evaluar	35

4.4 Medición de las variables físico-químicas del agua	36
4.4.1 Procedimiento de uso del oxímetro marca YSI PRO-20.....	36
4.4.2 Procedimiento de uso del Kit Lamotte AQ2 Fresh Water.....	37
4.5 Análisis microbiológico	39
4.5.1 Toma de muestras de organismos.....	39
Lesiones y signología macroscópica externa e interna.....	40
4.6 Análisis Bacteriológico	42
4.6.1 Disección de los organismos.....	42
4.6.2 Siembra en agar de enriquecimiento.....	44
4.6.3 Siembra en agares selectivos.....	45
4.6.4 Identificación microscópica.....	46
4.7 Análisis de la información	47
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	48
5.1 Mortandad de peces durante el 2021	48
5.2 Calidad del agua de la presa Nezahualcóyotl	51
Oxígeno Disuelto.....	51
Temperatura.....	53
pH	55
Amonio (NH ₄ ⁺).....	57
Nitritos (NO ₂ ⁻) y Nitratos (NO ₃ ⁻).....	58

5.3 Mortandad bacteriana.....	59
5.3.1 Análisis mortandad bacteriológica por zona de estudio.....	63
Zona 1. Apic-Pac (UPA´s).....	63
Zona 2. Puente Chiapas (UPA´s).....	66
Zona 3. La Venta (UPA´s).....	66
Zona 1. Apic-Pac (pesquería).....	68
Zona 2. La Venta (Pesquería).....	68
5.3.2 Identificación de bacterias en órganos diana.....	69
5.4 Áreas de menor riesgo sanitario	70
VI. CONCLUSIONES.....	73
VII. RECOMENDACIONES	75
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales especies de acuacultura en México	10
Cuadro 2. Parámetros físicos-químicos del agua recomendados para Tilapia cultivadas	13
Cuadro 3. Tolerancia de la calidad de agua por especies de acuerdo a Cline (2012)	18
Cuadro 4. Factores y consecuencias de los niveles bajos de O ₂ en el cultivo acuícola	24
Cuadro 5. Antibióticos regulados para peces	31
Cuadro 6. Rango de medición del oxímetro para los parámetros de Temperatura, Saturación y OD	37
Cuadro 7. Indicaciones de uso del Kit para lectura de los parámetros de pH, amonio, nitritos y nitratos	39
Cuadro 8. Porcentaje de incidencia de las bacterias en órganos aislados.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales riesgos en la acuicultura.....	17
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio	34
Figura 3. División en zonas de estudio en la Presa Nezahualcóyotl	35
Figura 4. Equipo oxímetro marca YSI PRO-20 utilizado para la medición de las variables de temperatura, OD y saturación	37
Figura 5. Tubo de ensayo con muestra para la prueba de colorimetría	38
Figura 6. Uso de la tabla de colorimetría del Kit.....	39
Figura 7. Muestras de organismos vivos para diagnósticos bacteriológicos.	40
Figura 8. Lesiones externas en organismos diseccionados en laboratorio.	41
Figura 9. Lesiones internas en organismos diseccionados en laboratorio.	42
Figura 10. Corte para la insensibilización del pez.	43
Figura 11. Disección de organismos..	43
Figura 12. Órganos dianas.....	44
Figura 13. Siembra de cuatro cuadrantes.	45
Figura 14. Crecimiento de colonias bacterianas en agar sangre	45
Figura 15. Morfología bacteriana observada en microscopio.....	46
Figura 16. Reportes de eventos de mortalidad en la presa Nezahualcóyotl en el 2021.	49
Figura 17. Resultado del análisis del Oxígeno Disuelto (OD) en la presa Nezahualcóyotl en 2021.....	52
Figura 18. Variación de la temperatura en 2021 durante los episodios de mortandad en la presa Nezahualcóyotl.	53

Figura 19. Análisis de escalado multidimensional no métrico (nMDS) de la temperatura promedio en cada mes en la presa Nezahualcóyotl en 2021.....	54
Figura 20. Gráfico de la variación del pH en la presa Nezahualcóyotl en 2021.	56
Figura 21. Gráfico de comportamiento del amonio en la presa Nezahualcóyotl en 2021.	57
Figura 22. Resultados bacteriológicos en las zonas de estudio en 2021.....	60
Figura 23. Coinfecciones en UPA´s de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl en 2021.....	62
Figura 24. Mapa de ubicación de UPA´s con resultados positivos a bacterias en 2021.....	65
Figura 25. Mapa de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl dividida en dos zonas generales en 2021.....	72

RESUMEN

La acuicultura genera más de la mitad de la producción de organismos acuáticos que son destinados para el consumo humano, además es una de las actividades del sector alimenticio con mayor crecimiento a nivel mundial. Estos incrementos de la producción en los sistemas de cultivos ocasionan diferentes alteraciones de tipo sanitario. Chiapas es el principal productor de la especie *Oreochromis niloticus* (tilapia) a nivel nacional, su principal cuerpo de agua donde se produce esta especie es la presa Nezahualcóyotl, donde se cultiva más del 50% de la producción estatal generada. En los sistemas de jaulas flotantes presentes en dicho cuerpo de agua, en los últimos años se han detectado alteraciones por diversos factores que llevan a brotes de mortalidades en las diferentes etapas de los cultivos, lo que ha limitado el crecimiento del sector. Por ello, en el presente trabajo se identificó el principal factor causal de mortandad acuícola en la presa Nezahualcóyotl, Chiapas, esto con el fin de contribuir al establecimiento de zonas adecuadas para el desarrollo de la actividad. Para lograr lo anterior, se realizó un muestreo a partir de los reportes de mortalidad en las Unidades de Producción Acuícola (UPA's) o de pesquería dentro de la presa durante el 2021, para lo cual, el área de estudio se dividió en zonas, siendo tres zonas para las UPA's (1 Apic-pac, 2 puente y 3 la venta) y dos zonas para pesquería (1 Apic-pac y 2 la venta). Se analizaron variables de calidad del agua (temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio, nitrito y nitrato) y se realizaron diagnósticos bacteriológicos (*Aeromonas spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Streptococcus spp.* y *Staphylococcus spp.*) a través del aislamiento en hígado, riñón, bazo y cerebro de tilapias con signos clínicos o lesiones. Obteniendo como resultado que las variables de calidad del agua se encontraron dentro de los rangos recomendados para el cultivo de la especie, el 66% de la mortandad en la presa corresponde a patógenos bacterianos, la bacteria *Streptococcus spp.* es el principal patógeno detectado en la presa durante los episodios de mortandad, además, se determinó la presencia de *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* como la coinfección de mayor frecuencia entre los organismos analizados. Finalmente, los resultados demuestran que el área de menor riesgo sanitario acuícola dentro de la presa Nezahualcóyotl se encuentra entre la zona 2 y zona 3 de estudio.

Palabras clave: Tilapia, *Streptococcus spp.*, coinfecciones

ABSTRACT

Aquaculture generates more than half of the production of aquatic organisms that are destined for human consumption, it is also one of the fastest growing activities in the food sector worldwide. These increases in production in crop systems cause different health-related alterations. Chiapas is the main producer of the *Oreochromis niloticus* (tilapia) species at the national level, its main body of water where this species is produced is the Nezahualcóyotl dam, where more than 50% of the state-generated production is cultivated. In the floating cage systems present in said body of water, in recent years alterations have been detected due to various factors that lead to outbreaks of mortality in the different stages of the crops, which has limited the growth of the sector. For this reason, in the present work the main causal factor of aquaculture mortality in the Nezahualcóyotl dam, Chiapas was identified, in order to contribute to the establishment of suitable zones for the development of the activity. To achieve the above, a sampling was carried out based on the mortality reports in the Aquaculture Production Units (UPA's) or the fishery within the dam during 2021, for which the study area was divided into zones, being three zones for the UPA's (1 Apic-pac, 2 puente and 3 la venta) and two zones for fishing (1 Apic-pac and 2 la venta). Water quality variables (temperature, dissolved oxygen, pH, ammonium, nitrite and nitrate) were analyzed and bacteriological diagnoses were made (*Aeromonas spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Streptococcus spp.* and *Staphylococcus spp.*) through isolation in liver, kidney, spleen and brain of tilapia with clinical signs or lesions. Obtaining as a result that the water quality variables were found within the recommended ranges for the culture of the species, 66% of the mortality in the dam corresponds to bacterial pathogens, the *Streptococcus spp.* is the main pathogen detected in the dam during mortality episodes, in addition, the presence of *Aeromonas spp.* and *Pseudomonas spp.* as the most frequent coinfection among the organisms analyzed. Finally, the results show that the area with the lowest aquaculture health risk within the Nezahualcóyotl dam is between zone 2 and zone 3 of the study.

Keywords: Tilapia, *Streptococcus spp.*, coinfections

I. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que el 50% del pescado para fines alimenticios es proveído por la acuicultura (FAO, 2020). Los incrementos en los niveles de intensificación de los sistemas de cultivos acuícolas presentan alteraciones de tipo sanitario, es decir, en el medio existen diversos patógenos, alteraciones de tipo nutricional y modificaciones en la calidad del agua que pueden ocasionar problemas de mortalidad en las diferentes etapas de cultivo (Pulido, 2019).

En los sistemas de producción piscícola es importante considerar que los peces siempre van a estar conviviendo con potenciales patógenos, el equilibrio presente en el sistema se pierde a partir de la generación de situaciones de estrés para los peces, esto favorece la oportunidad para que un problema sanitario se presente (Zatán, 2020). Estas condiciones favorables que alteran el equilibrio entre el ambiente, patógeno y hospedero, conducen a una enfermedad y por consiguiente la mortalidad en los cultivos, lo que representa grandes pérdidas económicas (Vasquez, 2019).

Entre los factores importantes para una buena producción acuícola se encuentra el mantener los parámetros físicos-químicos del agua dentro de los límites de tolerancia para los organismos acuáticos a cultivar. Las condiciones de fluctuación de temperaturas que se presentan en la presa Nezahualcóyotl son aprovechadas por patógenos oportunistas que afectan a los organismos desencadenando eventos de mortalidad. (ATT Innova, 2015).

El cambio climático, la sobreexplotación, las especies invasoras y la contaminación que ocurren en los ecosistemas, pueden ocasionar graves afectaciones en la fisiología de los peces, lo que ocasiona que estos sean más susceptibles a enfermedades (Briones *et al.*, 2017). Los patógenos existentes en los peces representan un problema grave en el sector y una gran preocupación para los acuicultores, debido a los efectos negativos que estos causan en los cultivos que puede llegar a reducir esta actividad a nivel mundial (Handayani *et al.*, 2018).

En el 2021 se registró en México una producción total de 82 mil 555 toneladas de tilapia. El mayor productor de tilapia en México es el estado de Chiapas, que para el 2021 registró una producción total de 30 mil 801 toneladas; los embalses donde se tuvieron mayor producción en el estado fueron la presa Nezahualcóyotl conocida como Malpaso con un 50% y la presa Peñitas con el 35% de la producción estatal total, el resto se produce de otros cuerpos de agua que se encuentran ubicadas en la entidad (SIAP, 2022).

1.1 Problema de investigación

Chiapas tiene condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo del sector acuícola, sin embargo, la construcción de presas hidroeléctricas en el cauce del río Grijalva modifica el hábitat acuático, lo que pudiera afectar a las poblaciones de peces, tanto los nativos como los introducidos por el sector acuícola (Anzueto *et al.*, 2016). El crecimiento y el desarrollo de las actividades pesqueras y acuícolas en México se encuentra asociado con el crecimiento de las fronteras acuáticas a través de las construcciones de embalses (Romero *et al.*, 2021).

La producción de tilapia es importante en el crecimiento económico de Chiapas, por lo cual se debe de identificar las causas de mortalidad de la especie que se presenta en los diferentes sistemas de cultivos, evitando las afectaciones directas en el volumen de cosecha, la calidad del producto, pérdidas en el recurso invertido por los productores y la escasez del producto (Pinzón, 2022).

El 90% de las enfermedades en los sistemas de cultivo acuícola están asociadas con el mal manejo y una implementación deficiente de los programas de bioseguridad. Además, la falta de conocimiento del productor sobre la ausencia o presencia de riesgos por patógenos y el cultivo intensivo complican aún más los problemas. Entre los organismos patógenos que causan mortalidad en la tilapia se encuentran bacterias como *Flavobacterium columnare*, *Edwardsiella tarda*, *Aeromonas spp.*, *Vibrio spp.*, *Francisella spp* y *Streptococcus agalactiae* (Huicab *et al.*, 2016).

De acuerdo con el Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas A. C. (2020), durante los últimos años se han presentado diferentes eventos de mortalidad asociados en gran parte a los cambios en la relación fisicoquímica de los componentes del agua, así mismo por la distribución geográfica desproporcional de las Unidades de Producción Acuícola.

Es por ello, que un monitoreo constante de los parámetros de calidad del agua y buen manejo de ello, permite ubicar áreas potenciales para las instalaciones de la producción acuícola, reduciendo el riesgo de exposiciones a patógenos, lo que

disminuye las afectaciones a la salud pública e impulsa la comercialización de calidad de estos productos tanto en mercados internos como externos (Rivas *et al.*, 2009).

Las malas prácticas en combinación con el crecimiento exponencial de la actividad, ha generado un deterioro del ecosistema acuático, razón por la cual se encuentra en una situación de amenaza para el desarrollo de la actividad, por ello, es necesario hacer un análisis del comportamiento de los agentes infecciosos para poder generar una propuesta de áreas con potencial de acuerdo a los riesgos sanitarios que se presentan en el cuerpo de agua de la presa.

1.2 Justificación

El agua es un recurso natural que ayuda a la preservación de la vida, además, es indispensable para el desarrollo de diferentes actividades productivas de importancia social y económica para el hombre. En las últimas décadas la sustentabilidad acuícola se encuentra comprometida por diferentes factores como pueden ser, por desechos de plásticos y metálicos, algunos químicos, alimentos no ingeridos por los organismos acuáticos, materias fecales, parásitos, microorganismos patógenos y la presencia de animales silvestres (Rangel , 2009).

La presencia de una mala calidad del agua es un riesgo importante para los organismos acuáticos nativos y los que se cultivan, al igual que para las personas que los consumen. Estas problemáticas ocasionan que los organismos sean susceptibles a enfermedades bacterianas que propician eventos de mortalidad, afectando a la economía del productor. El monitoreo constante de la calidad del agua para el cultivo acuícola garantiza una producción de calidad para el consumo humano y por consiguiente representa un aumento en el precio de venta de estos productos (Bautista & Ruíz, 2011).

El incremento de las actividades antropogénicas y las malas prácticas de manejo en el sector acuícola, genera un desequilibrio en los cuerpos de agua. El acelerado crecimiento de la actividad acuícola en la presa Nezahualcóyotl ha ocasionado diferentes amenazas que pone en riesgo la vida productiva del sector, lo que provocaría la disminución en la producción de tilapia a nivel estatal, debido a que el 50 por ciento de la producción total de tilapia en Chiapas se genera dentro de esta presa, esto modificaría gravemente la economía del sector.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Identificar el principal factor causal de mortandad acuícola en la presa Nezahualcóyotl en Chiapas, para contribuir al establecimiento de zonas adecuadas para la actividad.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Analizar el impacto de los factores fisicoquímico y microbiológicos del agua en los sitios con mortalidad acuícola.
- 2) Determinar las zonas asociadas con los mayores episodios de mortandad en las Unidades de Producción Acuícola y de pesquería dentro de la presa Nezahualcóyotl.
- 3) Identificar el principal agente patógeno que afecta a la actividad acuícola en la presa Nezahualcóyotl.
- 4) Identificar áreas de menor riesgo sanitario acuícola dentro de la presa Nezahualcóyotl.

2.3 Pregunta de investigación

¿La frecuencia de mortalidad en peces en la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl es debido a las bacterias patógenas oportunistas?

2.4 Hipótesis

La principal causa de los episodios de mortalidad en los peces de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl es la presencia de patógenos bacterianos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Producción acuícola a nivel mundial

La obtención de alimentos de origen acuático se puede realizar a partir de la captura o cultivo de las especies, esta última actividad se ha impuesto en los últimos años a un ritmo acelerado (Crespo & Jiménez, 2021).

La acuicultura se define como la producción de cualquier ser vivo en el medio acuático, lo que incluye micro y macroorganismos, unicelulares y multicelulares, vegetales como: micro y macro algas, además de animales vertebrados e invertebrados como: rotíferos, crustáceos, moluscos, peces, anfibios, reptiles y mamíferos. La acuicultura es considerada la solución más importante a los grandes retos de producción de alimento en la actualidad, asimismo como de materias primas de las industrias de procesamiento y de servicios ambientales (Platas *et al.*, 2017).

A nivel mundial, la acuicultura ha generado grandes impactos a la sociedad y a su economía, esto a través de la producción de alimento, la contribución a los medios de vida y a la generación de ingresos (Sosa *et al.*, 2016). Asimismo, la acuicultura se ha convertido en una importante industria proveedora de alimentos de alto valor nutricional para los países desarrollados, así como los países que se encuentran en desarrollo (Naranjo *et al.*, 2015).

La acuicultura ha presentado un rápido crecimiento, convirtiéndose en una industria vital en el sector productivo de alimentos, sin embargo, el inadecuado manejo de la acuicultura ha generado graves impactos ambientales y sociales, tal como el agotamiento de los recursos acuáticos que amenaza la seguridad alimentaria y la economía de muchos países (FAO, 2011).

En los últimos años, el incremento de la producción pesquera mundial se debe a la participación del sector acuícola, el cual ha crecido rápidamente en comparación a cualquier otro sector de producción de alimento de origen animal. Lamentablemente, la captura de especies se ha estancado en todo el mundo, estimando que el 47% de los bancos marinos del planeta se encuentran

sobreexplotados; se estima un estancamiento a partir del año 2015 hasta el año 2030 esperando que, durante ese tiempo la producción derivada de la acuicultura se encuentre en aumento (Beltrán , 2017).

Según datos de la FAO, en el 2017 la alimentación por pescado generó el 20% de proteína animal y el 7% de todas las proteínas consumidas en más de 3 300 millones de personas; en 2018 la producción acuícola fue de 114,5 millones de toneladas de peces vivos, lo que generó una total de venta de 263, 600 millones de USD (FAO, 2020).

El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura (SOFIA, por sus siglas en inglés) informa que para el año 2030 la producción que derive de la combinación entre la pesca de captura y la actividad acuícola alcanzará los 201 millones de toneladas. Para poder obtener este crecimiento, se requiere de esfuerzos para su fortalecimiento como es el reducir pérdidas y desperdicios, además de abordar la pesca ilegal, la contaminación de los ambientes acuáticos y el cambio climático.

El cultivo de peces en jaula es la práctica acuícola que se encuentra en crecimiento en los lugares que cuentan con las condiciones idóneas para desarrollar esta técnica, asimismo, contribuye altamente a la seguridad alimentaria en los países que se encuentran en desarrollo. En 35 países esta técnica genera una producción mayor en comparación con las capturas de organismos silvestres (FAO, 2016).

En la actualidad, la mayor producción acuícola mundial se genera en los países del continente asiático, con crecimientos de 2,6 millones de toneladas por año; China es el principal productor y exportador de la especie tilapia con más de 1.000 toneladas por año; la diversidad de tecnología que se implementa en los procesos de política acuícola ha logrado convertir a este país en potencia (Sánchez *et al.*, 2021). En América Latina, los principales países productores en acuicultura son Chile, Brasil, Ecuador y México, seguidos por Perú, Colombia, Cuba y Honduras, en donde predominan la producción para la exportación de estos productos; estos países hacen esfuerzos para diversificar la industria, con el fin de evitar la dependencia de una sola especie (Sosa *et al.*, 2016).

3.1.1 Producción acuícola en México

En los últimos años en México la acuicultura ha sido una de las actividades con mayor proyección y desarrollo, lo cual ha generado grandes beneficios sociales y económicos que redundan en una fuente de alimento para la población que contiene un alto valor nutricional y con costos accesibles (Sosa *et al.*, 2016). La producción acuícola en México durante el 2017, generó un total de 404 mil toneladas de pescados y mariscos que se cultivan en zonas marítimas ribereñas, aguas interiores y estanques que se ubican dentro del territorio nacional, con valor de 17 mil 813 millones de pesos, lo que permitió reactivar y dinamizar la economía en comunidades rurales del país (CONAPESCA, 2018).

La acuicultura es una rama del sector primario del país en donde se presentan diversos intereses por parte de los productores; se practica esta actividad como una alternativa adicional en las actividades económicas del sector rural (Betanzo *et al.*, 2019).

En América Latina, México es considerado uno de los primeros países en producción acuícola, además, es uno de los mayores pioneros en innovación acuícola, esto se debe a las implementaciones de las políticas ambientales, herramientas de planeación, soporte y los monitoreos continuos que se desarrollan, por ello se ha logrado la eficiencia productiva, permitiendo aumentar de forma constante la producción acuícola en el país (Sánchez *et al.*, 2021).

En México la producción acuícola es de vital importancia, esto se debe a que se generan alimentos de alto valor nutricional, empleos e ingresos económicos para la población, siendo una fuente de insumos para la industria alimentaria y de divisas. El conjunto de regiones pesqueras y acuícolas se encuentra distribuido geográficamente a lo largo de todo el territorio nacional; a pesar de que dentro del sector productivo se presentan diversas problemáticas, México tiene a favor la riqueza de sus recursos naturales, los cuales son propios para el desarrollo de las actividades acuícolas (Beltrán, 2017).

La red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud que constituye al país, son destacados por cincuenta ríos principales, las más sobresalientes son, las cuencas de los ríos Bravo, Balsas, Grijalva-Usumacinta, Lerma, Nazas y Aguanaval. Estas características permitan gran diversidad productiva debido a que incluye cientos de especies de peces, crustáceos, moluscos, equinodermos y algas, con potencial acuícola para consumo humano o para la producción de organismos de ornato, así como la generación de insumos para las diversas industrias (Gómez *et al.*, 2015).

La acuicultura en México se ha desarrollado en todas las regiones del país, utilizando prácticas diversas, como la actividad extensiva, intensivas y semi-intensivas, las cuales se presentan en: jaulas, líneas suspendidas, encierros, canales de corrientes rápidas, estanques artesanales, cubiertas plásticas y otras tecnologías que se encuentren disponibles para la cría de especies acuáticas de autoconsumo o para comercio de productos (Betanzo *et al.*, 2019).

Los principales productores acuícolas en México son los estados de: Sinaloa, Chiapas, Veracruz y el Estado de México que tienen producción acuícola de especies como: el camarón, mojarra tilapia, trucha, carpa y ostión (INAPESCA, 2018). En el cuadro 1, se identifican las principales especies que se manejan dentro de la acuicultura de México y el total de producción.

Cuadro 1. Principales especies de acuicultura en México

Especies	Producción	Estado mayor productor
Camarón	150 mil 76 toneladas	Sinaloa
Mojarra tilapia	149 mil 54 toneladas	Chiapas
Ostión	45 mil 148 toneladas	Veracruz
Carpa	30 mil 300 toneladas	Estado de México
Trucha	7 mil toneladas	Estado de México

Datos obtenidos de CONAPESCA (2018)

En el 2021, el sector pesquero y acuícola del país alcanzó una producción de 1.9 millones de toneladas, con una producción pesquera nacional de 5.3% mayor a la del año previo, lo que permitió cubrir el 80% de los requerimientos para el consumo humano. El consumo per cápita de pescados y mariscos en México pasó del 8.96 al 13.9 kilogramos en los últimos ocho años (SADER, 2022).

3.1.2 Producción acuícola en Chiapas

Chiapas se destaca por su variedad de productos alimenticios y sus recursos naturales que lo han posicionado a través de los años debido a los diferentes climas que se presentan en cada una de las regiones del estado, los productos presentan una buena calidad en cuanto al color, olor y la textura, características que lo hacen atractivos al consumidor (Ramírez J. , 2015).

En Chiapas los ríos Grijalva, Usumacinta, Lacantúm, Jataté y las Presas Belisario Domínguez, Nezahualcóyotl, Peñitas y Chicoasén, concentran el 30% del agua superficial que se encuentra en México, siendo el río Grijalva la cuenca hidrológica más importante en el país (SAGARPA, 2007).

La especie tilapia se introdujo en Chiapas con la finalidad de establecer programas de repoblamiento en los embalses artificiales, asimismo promover el cultivo piscícola en las comunidades rurales. Debido al éxito que los programas han generado, en el estado se manejan las pesquerías de agua dulce más importante del país (Toledo *et al.*, 2012).

La actividad pesquera y acuícola en Chiapas representa una de las principales fuentes de ingresos en la entidad. Los vastos recursos naturales y humanos, además de la situación geográfica privilegiada y el potencial productivo, hace que las oportunidades de exportación aumenten, convirtiéndolas en una de las principales actividades detonadoras para el desarrollo del estado (De los Santos , 2014).

La siembra en grandes embalses para la producción piscícola y la donación de crías de peces para la engorda en jaulas y estanques que se realizan mediante programas de fomento a la piscicultura rural, así como la comercialización de alto

rendimiento de camarones *Peneidos* en la costa del estado, son las modalidades con la que se maneja la acuicultura en Chiapas (Velázquez *et al.*, 2013).

Antes del 2015, Chiapas aporta el 3.3% de la producción acuícola a nivel nacional, lo que genera un total de mil 160 millones de pesos. Entre los años 2015 y 2016 este porcentaje fue en aumento, con un total de 305 millones de pesos, que representa el 35.7% de la producción (CONAPESCA, 2018). En los últimos años, Chiapas se ha destacado como el estado con mayor producción de mojarra tilapia, en el 2019 se registró más de 27,000 toneladas, para el 2020 se tuvo una producción mayor a 30,000 toneladas y en el 2021 se registró un total de 31,801 toneladas de producción de tilapia (OSIAP, 2020).

3.2 Producción acuícola de tilapia

La tilapia es de origen africano, las cuales fueron introducidas en muchas de las regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo durante la segunda mitad del siglo XX; en México esta especie fue introducida en 1964 procedentes de Estados Unidos, en la estación Piscícola de Temascal, Oaxaca, con el propósito de contar con una fuente de proteína barata, sostenible y de alta calidad, que permitiera satisfacer el continuo aumento de la población (Jácome *et al.*, 2019).

La especie tilapia anteriormente era considerado un pescado de bajo valor, en los últimos años esta especie ha ganado popularidad, actualmente es un alimento altamente consumido a nivel nacional e internacional (Morales *et al.*, 2004). El cultivo de tilapia se ha convertido en una de las actividades acuícolas de rápido crecimiento a nivel mundial, ocupando actualmente el tercer lugar en producción después de los salmónidos y otros peces dulceacuícolas; este cultivo es de los más rentables dentro del sector acuícola, debido a la alta productividad de la especie (OSIAP, 2020).

El acelerado crecimiento de la producción de tilapia también se debe a las recientes tendencias nutricionales, las cuales se adaptan a las propiedades nutricionales de la carne de pescado baja en grasas, abundante en proteínas, rica en calcio, fósforo y vitaminas (FAO, 2017).

Las tilapias han demostrado ser peces con rápida maduración y numerosos desoves anuales; en estanquerías estos organismos se reproducen a temprana edad (Wicki & Gromenida, 2016). Los costos totales para la alimentación de engorde de la tilapia son del 50% al 60%; debido a los altos costos en la alimentación es fundamental realizar evaluaciones continuas y asegurar que estos alimentos sean consumidos por los organismos, de otra forma ocasiona que disminuya la rentabilidad del negocio y afecte la calidad del agua (Martínez *et al.*, 2017).

La tilapia se caracteriza por su fácil adaptación en cautiverio y por las posibilidades de cultivo en diferentes tipos de ambientes dulceacuícolas, tanto en aguas salobres como en costeros marinos, además estos peces soportan concentraciones bajas de oxígeno disuelto en el agua en comparación a otras especies ícticas de cultivo, asimismo toleran la presencia de patógenos y condiciones físicas-químicas adversas (Saavedra , 2006). En el cuadro 2 se identifican los rangos de los parámetros que se recomiendan para el cultivo de tilapia.

Cuadro 2. Parámetros físicos-químicos del agua recomendados para Tilapia cultivadas

Parámetros	Rango		
	Mínimo	Óptimo	Máximo
Temperatura (°C)	8-10	20-35	38-42.5
Concentración de oxígeno (mg/l)	1	5	
pH	5	7-8	11
Concentración de CO ² (mg/litro)		50-100	
Alcalinidad CaCO ₃ ppm)	5	75	175
Dureza (ppm)		100-170	
Amonio (NH ₃ -N ppm)		<1	
Salinidad (‰)	0.1	15-18	69

Datos obtenidos de Conroy & Conroy (2008) (Fuente: Elaboración propia).

En el sector acuícola, la tilapia es uno de los productos con mayor importancia económica a nivel mundial, siendo China el mayor productor de esta especie. En Centro América, la tilapia es considerado como el rubro acuícola más importante de exportación de producto fresco, además el cultivo de tilapia en términos de acuicultura es el más consolidado y extendido en el área de Centroamérica (Paz *et al.*, 2019).

En México, el cultivo de tilapia es un componente importante para el desarrollo económico de algunas regiones del país, este cultivo se encuentra destinado al repoblamiento de embalses y al consumo humano, se manejan a través de sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivo. El noroeste de México es considerado como la región de mayor producción acuícola, sin embargo, el sureste del país ha desarrollado un crecimiento de la producción a través del cultivo de la especie tilapia (Bentazo *et al.*, 2019). En México existen aproximadamente 4,623 granjas de tilapia, que representan el 50.1 % del total de las granjas acuícolas registradas, la tilapia representa el 94.3% de la pesquería nacional, México es el noveno productor de tilapia a nivel mundial; el principal estado productor de tilapia es Chiapas, seguido por los estados de Sinaloa, Nayarit, Veracruz, Tabasco, Hidalgo y Guerrero (INAPESCA, 2018).

La tilapia se ha diseminado en diversos cuerpos de agua en las diferentes regiones del país, esto ha permitido establecer importantes mercados derivados de la acuicultura. El desarrollo del sector acuícola en el país se enmarca en la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (LGPAS). Esta ley establece los principios para ordenar, promover y regular el manejo integrado y aprovechamiento sustentable de esta actividad productiva (Sosa *et al.*, 2016).

Chiapas ha tenido un acelerado crecimiento en el cultivo de tilapia a través de los embalses artificiales, sin embargo, en las comunidades rurales la falta de personal técnico capacitado y el apoyo que se le brinda a este sector es deficiente. El escaso desarrollo económico del sector acuícola en las comunidades rurales, se derivan a partir de malas programaciones de siembra de alevines, hasta el manejo incorrecto

de los procesos de producción y comercialización del producto (CONAPESCA, 2007).

3.3 Impacto en la calidad del agua por actividades acuícolas

Las diferentes actividades productivas que realiza el hombre se encuentran relacionados con el uso de los recursos naturales, las cuales ocasionan impactos y efectos negativos para la naturaleza y los servicios ambientales, como son los relacionados al funcionamiento del ecosistema y de la sociedad en conjunto. Estas actividades generan degradación ambiental, ya que contaminan los recursos hídricos con sustancias químicas, materiales pesados y organismos microbiológicos (Menchaca *et al.*, 2019).

El acelerado crecimiento de la acuicultura a nivel mundial ha provocado serias preocupaciones entre los gobiernos, grupos de ambientalistas, incluso con la misma sociedad por los diversos daños e impactos que esta actividad genera en el ambiente; por ello es importante conocer cómo y dónde llevar a cabo esta actividad. Si no se tiene el manejo adecuado, puede afectar gravemente la calidad del agua, perturbando los ecosistemas acuáticos (González E. , 2017).

En la actualidad, las fuentes de aguas superficiales que existen presentan graves problemas de contaminación, por lo cual, en algunos casos el agua subterránea es la principal fuente de agua dulce para la actividad acuícola. En consecuencia, varias áreas se han enfrentado al hundimiento de tierra como resultado de la extracción excesiva de las aguas subterráneas; otros de los factores que modifica la calidad del agua son los desechos de alimentos y heces de los peces durante el cultivo (Sosa *et al.*, 2016).

El sector acuícola produce contaminación biológica por la introducción de especies exóticas en el medio, además de patógenos que impactan en el equilibrio del ecosistema. La acuicultura aporta grandes cantidades de nutrientes en el agua, como es el nitrógeno y el fósforo, que en exceso generan eutrofización en los cuerpos de agua (Pernía *et al.*, 2019).

Se pueden presentar diversas actividades o prácticas dentro del sector acuícola que afecta el medio ambiente, algunas de ellas son (Buschmann, 2001):

- 1) La introducción de antibióticos y sustancias químicas a los ecosistemas acuáticos.
- 2) La incorporación de ovas foráneas que puede ocasionar la expansión de enfermedades entre las especies cultivadas y el medio.
- 3) La sobreexplotación de los bancos de peces para la producción de alimentos de especies carnívoras.
- 4) Acumulación y descomposición de alimentos que no son consumidos por los organismos cultivados, esto genera el agotamiento de oxígeno disuelto del agua.
- 5) Los desechos de productos en el proceso de faena que terminan en los cuerpos de agua, entre otros.

Una de las principales causas del deterioro de la calidad del agua es el suministro del alimento en los cuerpos de agua; la cantidad de nutrientes que no son aprovechados por los organismos se acumulan como sedimentos (Sosa *et al.*, 2016). La utilización de concentrado comercial para la alimentación de los peces que se encuentran en jaulas de cultivo llega a generar grandes adiciones de fosfato, nitratos y otros nutrientes cuyo impacto se puede ver reflejado en los sedimentos que se presentan por debajo y alrededor de las jaulas (González, 2017).

Las jaulas afectan a los cuerpos de agua, esto se debe a la presencia física en un lugar determinado o por los cambios que puede inducir a las características físicas, químicas y biológicas del agua; asimismo causan efectos sobre la flora y fauna, produciendo una disminución de la diversidad que se encuentre presente, como es el caso del plancton (Urbano, 2019). En la figura 1 se representan algunos de los riesgos que se genera dentro de la acuicultura de jaulas flotantes.



Figura 1. Principales riesgos en la acuicultura. (Fuente: elaboración propia).

Las prácticas intensivas en la acuicultura impacta al medio ambiente mediante tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final (Buschmann, 2001). Estas malas prácticas que se pueden presentar en la acuicultura llegan a incrementar el costo de engorde de los peces, además dañan el medio que también se encuentran habitados por diferentes especies acuáticas (Silva , 2017).

Para disminuir los impactos al medio ambiente tanto en la columna de agua como en el fondo del cuerpo de agua, es importante mantener una densidad y el método de cultivo adecuado para la especie a cultivar, asimismo, las condiciones hidrográficas idóneas y el manejo correcto de la alimentación. Si las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua son muy bajas las especies pueden morir (Rabassó, 2006). En el cuadro 3, se observa los márgenes de tolerancia que requieren algunas especies de peces para un adecuado crecimiento.

Cuadro 3. Tolerancia de la calidad de agua por especies de acuerdo a Cline (2012)

Especie	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	pH	Alcalinidad (mg/l)	Amonio (%)	Nitrito (mg/l)
Peces de cebo	15.6-23.9	4-10	6-8	50-250	0-0.03	0-0.6
Siluro/carpa	18.3-26.7	3-10	6-8	50-250	0-0.03	0-0.6
Lubina rayada híbrida	21.1-29.4	4-10	6-8	50-250	0-0.03	0-0.6
Perca/luciooperca	10-18.3	5-10	6-8	50-250	0-0.03	0-0.6
Salmón/trucha	7.2-20	5-12	6-8	50-250	0-0.03	0-0.6
Tilapia	23.9-34.3	3-10	6-8	50-250	0-0.03	0-0.6
Peces tropicales	20-28.9	4-10	6-8	50-250	0-0.03	0-0.6

La introducción de especies foráneas potencia el riesgo a la presencia de patógenos, convirtiéndose en una amenaza para las especies nativas de las diferentes regiones, lo que hacen que compitan por el alimento y por los lugares para vivir (Urbano, 2019).

Las variaciones de los factores ambientales como pueden ser, las precipitaciones y las temperaturas que se presentan afectan de manera directa la calidad del agua, debido a que el comportamiento de los parámetros del agua depende directamente de ello (Rubio *et al.*, 2014).

3.4 Calidad del agua para la producción acuícola

En la acuicultura la seguridad y la eficiencia de la producción se encuentra asociada a la calidad del agua, por ello, es fundamental monitorear permanentemente las variables físicas, químicas y biológicas del agua, para que los operadores de las granjas acuícolas puedan planificar el manejo y asimismo puedan prevenir desastres que ocasionen pérdidas económicas y riesgos para el medio ambiente (Contreras *et al.*, 2018). Esto también nos ayuda a evitar el bajo crecimiento de la

población cultivada, la proliferación de enfermedades, mortalidades y la baja calidad del producto final (SADER, 2007).

Los grandes cambios diarios en el pH pueden causar estrés, crecimiento deficiente e incluso la muerte de los animales de granja. La mayoría de los organismos acuáticos pueden vivir en una amplia gama de concentraciones de alcalinidad. El nivel de alcalinidad total deseado para la mayoría de las especies de acuicultura se encuentra entre 50-250 mg/l. La dureza también es importante para la acuicultura; el calcio y el magnesio son las fuentes más comunes de dureza del agua, siendo esenciales en los procesos biológicos de los animales acuáticos, por ejemplo, para la formación de huesos y escamas en los peces (Wurts & Durborow, 1992).

La mayoría de las especies de peces tienen la capacidad de soportar algunas condiciones ambientales diferentes a las que son idóneas para su desarrollo, pero esto llega a ocasionar que la calidad de vida de estos organismos sea modificada. Al salir los parámetros de calidad del agua del rango aceptable por especie, los organismos se encuentran obligados a trabajar en situaciones de estrés. Un pez en estas situaciones tiene una menor capacidad de regeneración y protección contra enfermedades (González, 2021).

Para el monitoreo de calidad del agua es recomendable realizar las siguientes actividades (SAGARPA, 2007):

- 1) Para toma de mediciones de los parámetros físicos-químicos del agua, es necesario establecer horarios y puntos específicos para no afectar los datos que se puedan obtener.
- 2) Realizar un buen manejo en el registro de los datos que se obtengan durante el monitoreo.
- 3) Realizar pruebas estadísticas con el control de registro que se maneja para tener una correcta toma de decisiones.
- 4) Elaborar un manejo adecuado con los resultados obtenidos.

La calidad del agua es un factor importante para el desarrollo de las especies acuáticas, ya que puede llegar a afectar el desarrollo de estos organismos; la calidad

del agua varía según las características físicas, biológicas y químicas que se presentes en los cuerpos de agua (Vargas, 2017).

3.5 Medición de parámetros físico-químicos.

La calidad del agua es un punto crítico en el proceso de producción y debe controlar y monitorear los parámetros físicos, químicos y biológicos, procurando que se mantengan dentro de los rangos aceptables para el buen desarrollo de los organismos, en caso contrario la población en cultivo podría tener bajo crecimiento, proliferación de patógenos con brotes de enfermedad y eventuales mortalidades (Gutiérrez, 2018).

El mantener un manejo adecuado en la calidad del agua brinda confiabilidad en los productores y la obtención de un producto final de calidad, es por ello, la importancia de un monitoreo constante como una herramienta fundamental para la vigilancia rutinaria en los cuerpos de agua (Baque *et al.*, 2016).

Las variables fisicoquímicas (temperatura, color, turbiedad, DBO, DQO, nitritos, sulfatos, fosfatos, metales pesados, oxígeno disuelto, pH y conductividad), no solamente contribuyen a la evaluación de la calidad del agua, también son indicadores de contaminantes, por lo que son de gran importancia para los ecosistemas acuáticos (Gualdrón, 2016).

3.5.1 Principales parámetros físicos - químicos en la acuicultura

Temperatura

La temperatura es un factor abiótico, el cual es el encargado de regular los procesos vitales para los organismos vivos, también llega afectar las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos presenten en un ecosistema (González, 2017).

Los peces no tienen la capacidad propia de regular su temperatura corporal, por ello dependen del medio acuático en el que habitan. La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, esto se debe que por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno,

la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, sedimentación y filtración (INTAGRI, 2019).

La temperatura del agua es uno de los factores de mayor importancia para la salud de los peces, en especialmente para la etapa de cría, en el tratamiento de las enfermedades, incluso para la selección de distintas clases de peces (González, 2021).

Cuando la temperatura del agua varía o no se encuentra entre el rango óptimo de tolerancia para las especies, puede llegar a ocasionar la muerte de estos, por ende en la piscicultura es la variable de mayor importancia. Cuando la temperatura del agua aumenta, algunas sustancias como el amonio (NH_4) genera efectos perjudiciales en el cultivo; si la temperatura disminuye de los 15°C , la especie deja de comer hasta morir (Bautista & Ruíz, 2011).

Amonio

El Amonio en el agua se presenta en dos formas, como iones de amoniaco (NH_4^+), los cuales son tóxicos y como amoníaco tóxico no ionizado (NH_3). La porción relativa entre uno y el otro dependen de la temperatura y del pH que se presente en el agua. Por ejemplo, la toxicidad del amonio aumenta cuando el pH incrementa, debido a que en aguas básicas la posibilidad de que aumente el amoniaco se encuentra limitado por la escasez de concentraciones de protones (Valenzuela *et al.*, 2017).

El amonio es una de las principales sustancias tóxicas que perjudican las prácticas acuícolas. La toxicidad del amonio para los organismos acuáticos se presenta atribuida principalmente por la forma no ionizada (Bautista & Ruíz, 2011). El amonio es producido por los procesos biológicos que generan los peces como es, la excreción, orina y la descomposición de materia orgánica. Los valores del amonio superiores a los 2 ppm son peligrosos para el cultivo acuícola (Vargas, 2017).

Los niveles elevados del amonio causan diferentes problemas en la salud de los peces, principalmente por su alta toxicidad que llega a causar mortalidades en los cultivos, obligando muchas veces a los productores a recurrir a medicamentos, los

cuales reducen la calidad del alimento y aumentan los costes de mantenimiento (Pernía *et al.*, 2019).

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH en el agua es un indicador de concentración de iones de hidrógeno, que determina si el agua es ácida ($\text{pH} < 7$) o alcalina ($\text{pH} > 7$); este valor se puede alterar de acuerdo con el grado de eutrofización y a las modificaciones de los carbonatos (CO_3^-) del agua (Urbano, 2019), estos iones según pH del agua pueden estar en equilibrio en forma de bicarbonato o dióxido de carbono (CO_2).

En la producción acuícola esta variable puede afectar a los peces si se encuentra por debajo de los 4.5 o por encima de los 10 (Wurts & Durborow, 1992). Los valores extremos de pH condicionan el crecimiento del plancton y ocasionan graves eventos de mortalidad en los organismos acuáticos (González, 2021). La mayoría de los cuerpos de agua mantienen un pH entre los 5 a 10; los niveles bajos de pH causan estrés ácido en los peces, lo cual coacciona alteraciones en la respiración branquial y otros efectos hacia los organismos. Los valores de pH de 4 y 11 son valores extremos que ocasionan la muerte de los peces (Pernía *et al.*, 2019).

A mayor profundidad en los cuerpos de agua existe una menor actividad fotosintética, por lo cual, el pH decrece conforme aumenta la profundidad (Rubio *et al.*, 2014). La tilapia crece mejor en aguas con pH neutro o levemente alcalino; el crecimiento de esta especie se llega a reducir en aguas ácidas, aunque toleran pH 5, asimismo los niveles bajos de pH producen eventos de mortalidad en periodos de 3 a 5 horas, esto se debe a fallas respiratorias y cutáneas que se produce en la especie (Valenzuela, 2017).

Oxígeno disuelto (OD)

La mayoría de las plantas y animales acuáticos necesitan oxígeno para sobrevivir, los peces se ahogan en el agua cuando los niveles de oxígeno disuelto bajan demasiado. Además, los bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua son un signo de posible de contaminación (Dos santos *et al.*, 2008). Es necesario saber que el

oxígeno disuelto descende en días nublados, es inexistente durante la noche y puede reducirse dependiendo de la turbidez y la profundidad (Rivas *et al.*, 2009).

El OD depende en gran medida a las horas de sol que se presente, esto se debe que en algunas plantas acuáticas aumenta el OD durante el día, por la actividad fotosintética. El nivel de OD depende de las actividades físicas, químicas y biológicas que se realicen en la parte alta de la cuenca. Esta variable se puede ver afectado por la temperatura, debido a que se encuentra en función a la temperatura y a la materia orgánica presente (Rubio *et al.*, 2014).

Algunas especies como la tilapia toleran niveles bajos de OD, pero existen niveles apropiados de OD para la crianza de las especies tal como se ha mencionado en las tablas 2 y 3. En el caso de la tilapia las concentraciones apropiadas son mayores a los 4 mg/l (Cline, 2012), si el OD se encuentra por debajo de los niveles apropiados los peces dejan de comer y se ven afectados, lo que hace que se vuelvan susceptibles a diversas enfermedades, aumentando los costos de producción. Cuando el oxígeno se encuentra por niveles bajos de los 1 mg/l, las tilapias buscan la superficie del agua para poder captar oxígeno directamente de la atmósfera, para lo cual utilizan los labios extendiéndolos para poder captar más fácilmente el oxígeno (Vargas, 2017). En el cuadro 4 se identifican algunos factores y consecuencias de los niveles bajos de O₂ en los cultivos acuícolas.

Cuadro 4. Factores y consecuencias de los niveles bajos de O₂ en el cultivo acuícola

Algunos factores que disminuyen el nivel de O₂	Consecuencia de exposición prolongada a valores bajos de O₂
Densidad de siembra	Menor tasa de crecimiento
Heces	Mayor tasa de conservación alimenticia
Alimento no consumido	Inapetencia y estrés
Descomposición de la materia orgánica	Sistema inmunológico disminuido
Aumento de la temperatura	Susceptible a enfermedades
Respiración de fauna acompañante	Mortalidad
Liberación de O ₂ del agua a la atmósfera	Mayores costos de producción

Datos obtenidos del Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero

Si la cantidad de OD presente en el agua sufre grandes variaciones continuas, provocará un sobreesfuerzo en el metabolismo de los peces que puede llegar a impedir la reproducción y reducir el tiempo de vida (González, 2021).

Nitratos y Nitritos

Los nitratos y nitritos son iones que existen de forma natural y forman parte del ciclo del nitrógeno. La nitrificación se presenta por la oxidación de un compuesto de amonio a nitrito, por la acción de las bacterias nitrificantes como *Nitrosomas*, los cuales son oxidados a nitratos por la acción de las bacterias *Nitrobacter*. La nitrificación se realiza más rápido con un pH de 7 a 8 y a temperaturas de 25-30 °; esta reacción química hace que los niveles del pH bajen (Urbano, 2019).

El monitoreo de esta variable es de importancia para la calidad del agua, en ocasiones este compuesto está relacionado cuando se manifiesta problemas de salud tanto en humanos como en animales; en grandes cantidades es peligrosa (Gualdrón, 2016).

El nitrito es nocivo para los peces a partir de valores de 0,25 mg/l, provoca que los peces mueran con la boca abierta y los opérculos cerrados; el nitrato en bajas

concentraciones puede ser inofensivo, pero puede llegar afectar si se encuentra a concentraciones muy elevadas, también sirven como sustancias nutritivas para las plantas (González, 2021).

3.6 Patógenos en tilapia

Las tilapias en cautiverio se encuentran expuestas a condiciones de estrés, lo que ocasiona la presencia de diferentes enfermedades (Naranjo *et al.*, 2015). Asimismo, el intercambio comercial de diversos productos con fines alimenticios entre diferentes países genera la proliferación de las enfermedades, en la mayoría de los casos no se localiza el país de origen de determinadas enfermedades (Romano & Mejía, 2016).

En los cultivos acuícolas se presentan mortalidades o enfermedades ocasionadas por patógenos, estas pueden ser por bacterias, virus, hongos y parásitos, los cuales dependiendo de las épocas del año y la etapa productiva, ocasionarán diferentes daños y cuadros clínicos (Panorama Acuícola, 2022)

En cualquier tipo de hábitat los peces, se encuentran susceptibles a los diferentes patógenos oportunistas. Sin embargo, existe una mayor incidencia de enfermedades en peces de cautiverio en comparación con los peces silvestres, esto se encuentra relacionado con las densidades de población a las que están expuestas los peces de cultivo, generando consecuencias graves como, es la mortalidad masiva en los organismos de producción, además, de la pérdida económica para los productores (FAO, 2011).

La mala calidad del agua, la sobre carga de la producción y la presencia de microbianos patógenos, son los factores de mayor importancia asociados a las enfermedades infecciosas presentes en los sistemas de producción de la especie tilapia (Castro, 2020). La presencia de patógenos en peces representa un problema grave para la acuicultura, debido a que genera pérdida de ingresos, lo que reduce el desarrollo de la acuicultura en el mundo (Handayani *et al.*, 2018).

El incremento de los signos clínicos en tilapia se relaciona con la presencia de enfermedades de origen infecciosas, las cuales, tienen un lapso de manifestación

más prolongado en comparación con las enfermedades o mortalidades ocasionadas por estrés fisiológico. Las infecciones por hongos o parásitos afectan principalmente a peces pequeños (alevines y juveniles), mientras que las infecciones por bacterias se presentan a lo largo de todo el ciclo productivo (Panorama Acuícola, 2022).

Los patógenos siempre se encuentran presentes en los peces y en los cultivos, los cuales aprovechan condiciones que les favorezcan para el aumento de sus poblaciones en un periodo de tiempo corto; la forma en la que se manifiestan estos patógenos es a través de un crecimiento lento, lesiones leves o severas o en el peor de los casos ocasiona la muerte de los peces (Ramírez *et al.*, 2020).

Parásitos en tilapia

Los peces en el ambiente natural y en cultivo se encuentran expuestos a diversos parásitos, las afecciones por estos, son favorecidas por diferentes factores como son las altas densidades y las condiciones ambientales; los parásitos infectan directamente al hospedador y ocasionan un efecto negativo hacia los organismos, además reducen su valor comercial, limitan sus poblaciones o generan altas tasas de mortalidad. En algunos casos estos parásitos llegan a ser zoonóticos para el humano (Alvarado, 2019).

Hongos en tilapia

Los hongos son organismos saprófitos facultativos por naturaleza, son patógenos al alimentarse de los tejidos que se encuentran destruidos o dañados por otras causas, por ejemplo, por parásitos, bacterias, por mala manipulación de los organismos o por el enmalle. El hongo que llega a causar más daño en la tilapia es *Saprolegnia*, el cual se identifica como una gran masa algodonosa (Ramírez *et al.*, 2020).

Virus en tilapia

El Virus que afecta gravemente a la tilapia es el Virus de la Tilapia del Lago (TiLV), es un virus recientemente descrito que afecta tanto a las tilapias que se encuentren en cautiverio y como a las silvestres. Actualmente no hay una cura para las enfermedades virales en la acuicultura; aunque las vacunas y las crías selectiva

han demostrado ser exitosas en la reducción de algunas enfermedades virales. En el caso del TiLV, aún no se cuenta con el conocimiento suficiente para la realización de vacunas efectivas (Dverdal *et al.*, 2019).

3.6.1 Enfermedades bacterianas en tilapia

La flora bacteriana que caracteriza a la tilapia depende de diversos factores, entre los cuales de cuerpo de agua o aguas de donde provienen, además varía acorde a las condiciones en las que se encuentre su hábitat, lo cual depende de la temperatura, el grado de contaminación de las aguas y la profundidad de estas, llegando a ocasionar la presencia de bacterias (Morales *et al.*, 2004).

Varios patógenos bacterianos que se encuentran presentes en todo el mundo son grandes amenazas para la producción piscícola, no solo por las enfermedades que causan en los peces, si no, también por las grandes pérdidas económicas que sufren los productores. Las bacterias patógenas de particular importancia en los peces de agua dulce incluyen *Streptococcus spp*, *Aeromonas spp*, *Flavobacterium spp*, *Edwardsiella spp*, *Pseudomonas spp*, *Vibrio sp*, *Mycobacterium spp*, entre otros. En México el diagnóstico de enfermedades en el sector acuícola es deficiente, por lo cual, estas enfermedades se mantienen en el ambiente y perjudican en gran medida a los cultivos acuáticos (Wamala *et al.*, 2018).

Las enfermedades bacterianas en los peces son originadas por diferentes factores como son, un mal manejo del sistema, altas densidades en la población y parámetros físicos-químicos del agua que se encuentran fuera del rango óptimo para el cultivo de los organismos (Conroy & Conroy , 2008). Algunas de las bacterias patógenas que se encuentran presente en los peces son facultativas y pueden sobrevivir en el agua durante largos periodos de tiempo, esto llega a dificultar la prevención de estos patógenos.

En condiciones reales de campo, el cultivo de peces en cuerpos de agua naturales puede sufrir la presencia de bacterias oportunistas debido a las combinaciones de diversas variables ambientales, especialmente las asociadas a la calidad del agua (Nurul *et al.*, 2016). Las infecciones bacterianas son consideradas como la mayor

causa de muerte en los cultivos de peces, lo cual pueden llegar a ser una limitante en la producción de los peces. Las bacterias también se pueden presentar en forma asintomáticas sin ocasionar daños visibles (Naranjo *et al.*, 2015). La precisión del diagnóstico de enfermedades de peces, la prevención y el tratamiento, ayuda a mantener un control de los patógenos (Handayani *et al.*, 2018).

Las enfermedades por bacterias en la producción de tilapia cobran importancia, debido a que pueden ocasionar pérdidas de hasta el 100% de la población del cultivo. Las bacterias que se presentan con mayor frecuencia en los sistemas acuícolas se clasifican en bacterias Gram negativas y Gram positivas; las bacterias Gram negativa ocasionan el síndrome de la septicemia hemorrágica bacteriana y las bacterias Gram positivas, en la mayoría de los casos causan infecciones granulomatosas (García *et al.*, 2021).

3.6.2 Bacterias Gram positivas en tilapias

Las bacterias Gram positivas son aquellas que retienen la tinción azul-violeta en la técnica de doble tinción (tinción Gram); las cuales se encuentran constituidas por una pared gruesa compuesta de peptidoglucanos y polímeros, que hacen resistentes a la decoloración (Rodríguez & Arenas , 2018).

Streptococcus spp.

Infecciones causadas por *Streptococcus spp.*, especialmente *Streptococcus agalactie* y *Streptococcus iniae*, causan enormes pérdidas económicas en el sector acuícola. Su prevalencia y gravedad depende de múltiples factores ambientales, como son la temperatura y calidad del agua, además del aumento de los niveles de amonio y de los bajos niveles de OD (Liu *et al.*, 2016).

La enfermedad ocasionada por estos cocos Gram positivos se caracteriza por ocasionar altas mortalidades, principalmente en tallas de organismos de engorda en época de calor y lesiones crónicas en filete, lo que ocasiona que el periodo de crecimiento se retrase, además causa disparidad en los lotes de cosecha, por ello, es considerada la enfermedad en tilapia con mayor impacto para la economía de los productores (Panorama Acuícola, 2022).

Staphylococcus spp.

La bacteria *Staphylococcus spp.* es un patógeno peligroso, cuya importancia se debe a la rápida aparición de resistencia a los antibióticos, lo que aumenta su capacidad para enfermar. Su patogenicidad se relaciona principalmente con las características genéticas y por su transmisión por medio de los alimentos (Montaser *et al.*, 2021).

Aunque este patógeno es menos frecuente, se ha reportado grandes pérdidas económicas en lugares como Japón, Estados Unidos de América y Sudáfrica por su causa. La infección por *Staphylococcus spp.* se presenta por la manipulación de los peces en las distintas etapas del cultivo, presentan signos como pequeños nódulos y áreas de formación de granulomas de color blanco o amarillento, también se han reportado la presencia de esplenomegalia y la formación de granulomas en el riñón anterior y bazo (Conroy, 2007).

3.6.3 Bacterias Gram negativas en tilapias

Se le denomina bacterias Gram negativas a las que se decoloran con el primer colorante en la técnica de la doble tinción (tinción Gram) y después se tiñen con el reactivo de safranina; estas bacterias consisten en una capa muy delgada de peptidoglucanos más una bicapa de lipoproteínas que se puede deshacer con la decoloración (Rodríguez & Arenas, 2018).

Aeromonas spp.

Las *Aeromonas spp.* son causantes de una de las enfermedades infecciosas más importantes para la acuicultura a nivel mundial, esta afecta gravemente a los peces que se encuentran en cautiverio y las que son destinados para consumo humano. En las últimas décadas estas bacterias tienen relevancia por el aumento de los casos clínicos, pérdidas económicas, las lesiones e incluso la muerte que puede generar en los organismos acuáticos (Perretta *et al.*, 2019).

Las infecciones derivadas de *Aeromonas spp.* tradicionalmente se han descrito en tres grandes tipos:

1. Septicemias
2. Formas cutáneas, que consisten en lesiones limitadas de la piel que se puede extender a los músculos adyacentes formando úlceras.
3. Infección latente, sin signos de enfermedad.

Las formas de septicemias de las tilapias causan exoftalmia, hemorragias en cavidades internas en mesenterio y peritoneo, además de acúmulos de fluidos inflamatorios en los órganos internos (Pulido, 2017).

Pseudomonas spp.

Las especies de peces que habitan en aguas salobres o dulces son más susceptibles a la enfermedad septicémica por *Pseudomonas*, este tipo de bacterias son oportunistas que se encuentran de forma natural en todos los ambientes (acuáticos, terrestres y en atmósfera), asimismo forman parte de la flora del intestino de los peces; la enfermedad se manifiesta de forma aguda o crónica, con lesiones hemorrágicas sobre la piel, pero con mayor frecuencia las lesiones se encuentran en los tejidos internos, además se presenta oscurecimiento en la piel, descamación, ascitis abdominal y exoftalmia (FAO, 2011).

Esta bacteria se presenta cuando los peces se estresan por diferentes factores, como son las bajas concentraciones de OD, las temperaturas elevadas, la alimentación deficiente, sobrepoblación y mal manejo de los peces que se encuentren en cautiverio (Handayani, 2017).

3.7 El uso de antibióticos en la acuicultura

Uno de los impactos que es ocasionado por la acuicultura es el uso de compuestos químicos utilizados para el tratamiento de algunas enfermedades de tipo viral o bacteriana que afectan a los cultivos, esto genera que los compuestos se introduzcan a las cadenas tróficas, lo que provoca daños a largo plazo, por tratarse de un impacto acumulativo (Ovando, 2013).

La prevención y control de los patógenos en la producción acuícola se ha convertido en prioridad para el desarrollo de este sector. Para el control de estas enfermedades

se utiliza medicamentos de uso veterinario de amplio espectro, los cuales son suministrados en el medio de cultivo a través del alimento; el uso indiscriminado de los antibióticos en la industria de la acuicultura trae con ello diversas afectaciones a la calidad del agua, además crea reservorios de bacterias resistentes al medicamento (García *et al.*, 2021).

La resistencia a los antimicrobianos se produce por el excesivo uso de los antibióticos, esto ocasiona que las bacterias, virus, hongos y parásitos desarrollan resistencia, es decir, se vuelven inmunes a los tipos de medicamentos que se utilizan, lo que da como resultado que las infecciones persistan en los organismos e incrementen los riesgos de propagación (SENASICA, 2020).

El uso de medicamentos veterinarios en los animales acuáticos cultivados para la producción de alimentos, debe de mantenerse sujeto a controles que garanticen la seguridad de los productos finales, el incumplimiento de los requisitos puede generar la ingesta de productos inseguros para el consumidor. En el cuadro 5 se muestran algunos antibióticos regulados y utilizados para peces.

Cuadro 5. Antibióticos regulados para peces

Antibióticos	Número de regularización
Enroqueen 10%	DGSA-DSAP-CSAUA-001- (1)/2016
Prevenicol 2%	DGSA-DSAP-CSAUA-009-(1)/2016
Núcleo Oxiblend Aqua	DGSA-DSAP-CSAUA-018- (1)/2016
Núcleo Florblend Aqua	DGSA-DSAP-CSAUA-017- (1)/2016
AquaFlor	DGSA-DSAP-CSAUA-022- (1)/2017
Tetradex 50 Aqua	DGSA-DSAP-CSAUA-003- (1)/2017

Datos obtenidos del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (2019)

Los tratamientos en donde se utilicen alimentos medicados deben de incorporarse de forma completa, es decir, siempre aplicando las recomendaciones indicadas para las dosis durante el periodo de administración para el que se prescribió el medicamento; estos tratamientos en algunos casos deben de continuar aún

después de que los peces aparentemente se hayan recuperado. La resistencia antibiótica en bacterias puede ser ocasionadas por medicar a los peces con el alimento en concentraciones menores o por menor número de días a las recomendadas (Font, 2021).

Internacionalmente es reconocido que el uso de medicamentos es importante para el control de enfermedades. La cría de animales necesita la disponibilidad de antimicrobianos eficaces para el aumento de las tasas de supervivencia de la población, asimismo, reducir los problemas crónicos de las infecciones y mejorar los índices de conservación de los alimentos; una de las principales soluciones para el control de las enfermedades en la acuicultura, es el uso prudente de los medicamentos veterinarios (FAO, 2017).

3.8 Bioseguridad en la acuicultura

La bioseguridad en la acuicultura es el conjunto de medidas que se deben de implementar para la prevención de infección por agentes patógenos, así como las medidas de contingencia aplicadas en respuestas a brotes de enfermedades que incluyen control y erradicación. Lo anterior, con el enfoque del bienestar a la salud de los organismos, como los aspectos de la salud pública y protección al medio ambiente. Estas medidas es una herramienta importante para la protección a las economías derivadas de la actividad acuícola (Figueredo *et al.*, 2020).

Para obtener un buen procedimiento de bioseguridad siempre debe de encontrarse combinado con un efectivo programa de higiene, los cuales consisten básicamente en los procesos de limpieza y desinfección adecuada a las condiciones locales. Asimismo, el alimento debe de encontrarse en las mejores condiciones de almacenamiento, esto ayuda a evitar el desarrollo de los hongos productores de aflatoxinas que puede afectar el crecimiento y desencadenar mortalidades en tilapias, además el brindar alimento balanceado a los organismos que sea acorde a la edad y el requerimiento de la especie, garantiza un buen estado de salud para el cultivo (Fajer *et al.*, 2017).

El implementar medidas de bioseguridad en Unidades de Producción Acuícola genera diversos beneficios para el desarrollo del cultivo como son (SENASICA, 2019):

1. Promueve la sanidad acuícola, asimismo minimiza la pérdida de los animales de cultivo.
2. Protege la inversión económica de los productores.
3. Incrementa el comercio del producto en mercados internos y externos.
4. Impide la introducción de patógenos que puedan dañar el cultivo.
5. Ayuda minimizar el impacto por enfermedades.
6. Protege la seguridad del suministro de los alimentos.
7. Disminuye el riesgo de enfermedades zoonóticas para la salud humana.

La falta de un plan de bioseguridad podría ser catastrófico debido a las pérdidas económicas ocasionado por los eventos de mortalidad. Por ello, es importante que antes de establecer cultivos acuícolas se realice la debida selección del sitio, esto también nos permite conocer la calidad y disponibilidad del suministro del agua para una adecuada implementación de normas y medidas de bioseguridad. Lo anterior contribuye a garantizar la sostenibilidad de las Unidades de Producción y de asegurar la fiabilidad al consumidor de la calidad e inocuidad de los productos (Altamirano & Meza , 2020).

3.8.1 Sanidad Acuícola

Uno de los puntos de mayor importancia para la bioseguridad en los cultivos es la sanidad acuícola, el cual se define como las prácticas que se encuentran encaminadas a prevenir, diagnosticar y controlar enfermedades en organismos producidos en la acuicultura, procurando la seguridad alimentaria. Para ello en México, se crearon los Comités de Sanidad Acuícola, quienes dan seguimiento a los procesos de producción de la acuicultura, con la finalidad de preservar la sanidad y la calidad de los productos (CONAPESCA, 2018). La implementación y fomentación de campañas sanitarias para el manejo de los cultivos acuícolas son unas de las principales actividades realizadas por los Comités (CESACH, 2023).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Zona de estudio

La presa Netzahualcóyotl se encuentra en el cauce del río Grijalva entre los municipios de Copainalá, Tecpatán y Ocozocoautla de Espinosa, se ubica entre las coordenadas geográficas $93^{\circ} 45' 20''$ de longitud oeste y $17^{\circ} 00'$ y $17^{\circ} 15'$ de latitud norte (figura 2).



Figura 2. Ubicación de la zona de estudio

En la presa hidroeléctrica Netzahualcóyotl conocida localmente como Malpaso, el clima es cálido húmedo con lluvias abundantes en verano y lluvias todo el año, debido a que las paredes de estas sierras miran al golfo de México y sufren el efecto de los alisios que llevan humedad a las partes altas de las montañas del norte de Chiapas (ATT Innova, 2015).

La zona de estudio se caracteriza por ser un cuerpo de agua cuya profundidad máxima es de aproximadamente 150 metros, la composición batimétrica en la porción noreste presenta 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.

4.2 Registro de datos y muestreo

La presa Nezahualcóyotl se dividió en zonas, las cuales se dividieron en tres zonas para Unidades de Producción Acuícola (UPA's) y dos zonas para pesquerías; para las UPA's las tres zonas de estudio se establecieron de la siguiente forma: zona 1 "Apic-pac", zona 2 "Puente Chiapas" y zona 3 "La Venta"; para el muestreo de organismos silvestres se establecieron en: zona 1 "Apic-pac" y zona 2 "La Venta" (figura 3). Se acudió a medir parámetros físico químicos y tomar muestras de organismos con signos clínicos en las unidades de producción o cooperativas de pesquerías que notificaban mortalidad al CESACH durante el periodo de enero a diciembre de 2021. Cabe mencionar que los productores realizan las notificaciones cuando estiman al menos un 30% de su población afectada. En cada sitio se registraron los datos de la UPA, su ubicación, datos de las mediciones y observaciones de los signos clínicos en los organismos.

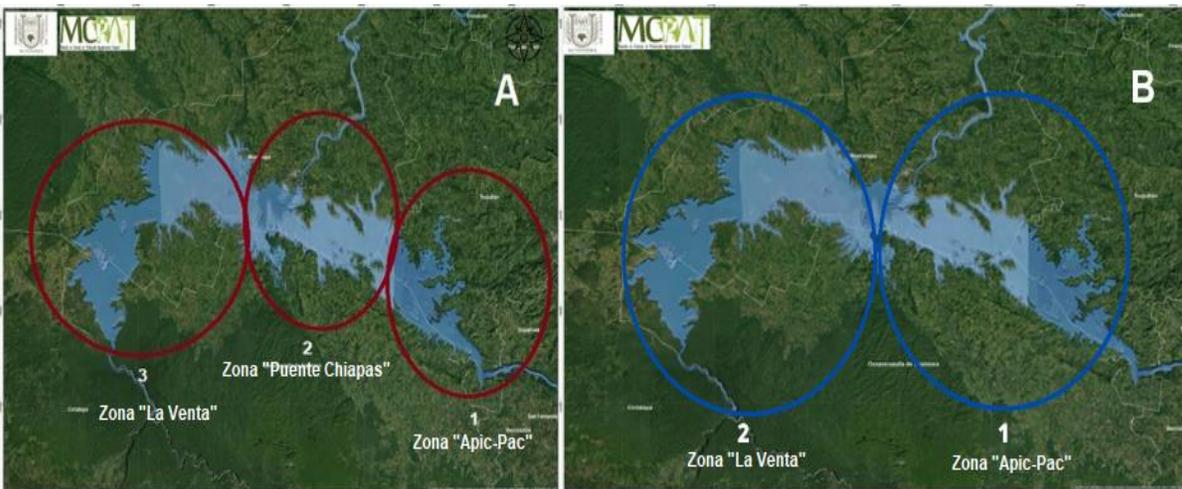


Figura 3. División en zonas de estudio en la Presa Nezahualcóyotl; A) zonas de estudio en UPA'S; B) zonas de estudio en pesquerías. (Fuente: elaboración propia)

4.3 Variables a evaluar

Las variables evaluadas en este estudio que sirvieron de marco para la caracterización de parámetros fisicoquímicos del agua son:

- Temperatura (°C) con base en NMX-AA-007-SCFI-2013

- Oxígeno disuelto (mg/l) con base en NMX-AA-012-SCFI-2001
- Saturación (%), con ayuda de un oxímetro (YSI pro 20).
- pH con base en NMX-AA-008-SCFI-2016
- Amonio (mg/l) con base en MX-AA-026-SCFI-2010
- Nitritos (mg/l) con base en NMX-AA-099-SCFI-2006
- Nitratos (mg/l) con base en NMX-AA-079-SCFI-2001

Las variables biológicas para evaluar la afectación bacteriológica son:

- *Aeromonas spp.*
- *Pseudomonas spp.*
- *Streptococcus spp.*
- *Staphylococcus spp.*

4.4 Medición de las variables físico-químicas del agua

Para las mediciones de las variables de OD, temperatura y saturación, se utilizó un oxímetro marca YSI PRO-20, a las profundidades de 1, 3, 5, 10, 15 y 20 m. Los datos fueron obtenidos en las primeras horas del día según recomendaciones de la norma. En la tabla 6 se observa los rangos de medición del equipo.

Para la medición de las variables pH, alcalinidad (mg/l), amonio (mg/l), nitritos (mg/l), nitratos (mg/l), se realizaron mediante el empleo del kit Lamotte AQ2 Fresh Water, que consiste en utilizar tiras reactivas de colorimetría en campo.

4.4.1 Procedimiento de uso del oxímetro marca YSI PRO-20

Una vez ubicada dentro de las zonas establecidas según reportes de mortalidad, se procedió a la medición de los parámetros de calidad del agua (OD, temperatura y saturación), para la cual se colocó el sensor dentro del cuerpo de agua, se agitó la sonda para eliminar toda burbuja de aire que se pudiera presentar, se dejó estabilizar las lecturas de temperatura y saturación; se agitó nuevamente la sonda para la medición del Oxígeno Disuelto.

Cuadro 6. Rango de medición del oxímetro para los parámetros de Temperatura, Saturación y OD

Parámetro	Rango de medición
Temperatura	-5 a 55°C
Saturación	0 a 500%
Oxígeno Disuelto	0 a 50 mg/l

Una vez que los valores alcanzaron su tope y se estabilizó (figura 4), se procedió a guardar el conjunto de datos en la memoria de acceso del oxímetro para la posterior consulta de los datos obtenidos, este mismo procedimiento se realizó a las diferentes profundidades establecidas en cada uno de los puntos de muestreo.



Figura 4. Equipo oxímetro marca YSI PRO-20 utilizado para la medición de las variables de temperatura, OD y saturación

4.4.2 Procedimiento de uso del Kit Lamotte AQ2 Fresh Water

Para la medición de los parámetros de pH, amonio, nitrito y nitrato se procedió de la siguiente manera:

1. Se llenó un tubo de ensayo limpio con 5 ml de agua de la muestra que se evaluó (se aforó hasta la marca sobre el tubo) (figura 5).

2. Se añadió las gotas indicadas por cada solución (cuadro 7). Se mantuvo el frasco cuentagotas hacia abajo en posición vertical para que las gotas fueran uniformes.
3. Se colocó el tapón sobre el tubo de ensayo y se mezcló el agua con la solución.
4. Se esperó 5 minutos para observar la reacción que se visualiza con mediante un viraje de color.
5. El color resultante se comparó con la tabla de colorimetría (figura 6). Para lo cual, se colocó el tubo de ensayo y la tabla colorimétrica en una zona bien iluminada.
6. Se enjuagó el tubo de ensayo con agua destilada después de cada uso.

Nota: el kit contiene frasco de 30 ml para cada una de las soluciones reactivas, tubos de ensayo y la tabla de colorimetría.

La medición de los parámetros mediante la técnica colorimétrica se realizó por duplicado en cada área con reporte de mortalidad. La primera medición se realizó con muestra de agua de la superficie y la segunda lectura fue con muestra de agua de 1 metro de profundidad.



Figura 5. Tubo de ensayo con muestra para la prueba de colorimetría

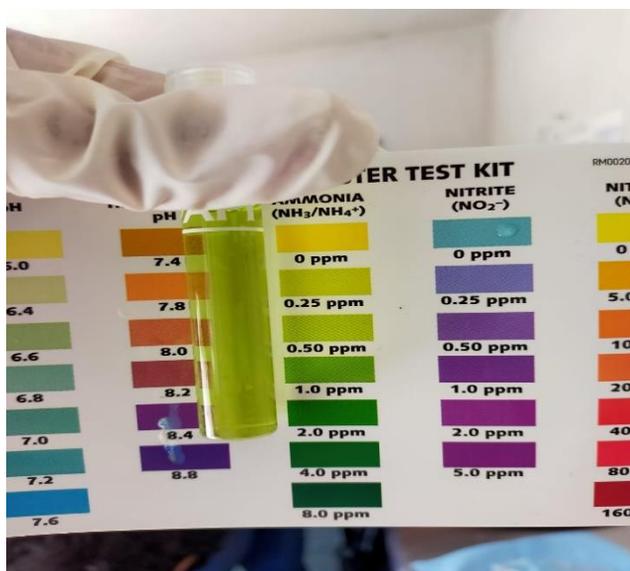


Figura 6. Uso de la tabla de colorimetría del Kit.

Cuadro 7. Indicaciones de uso del Kit para lectura de los parámetros de pH, amonio, nitritos y nitratos

Parámetros	Añadir	Rango de medición
pH	3 gotas	6-7.6
pH de alto rango	5 gotas	7.4-8.8
Amonio	Frasco No. 1- 8 gotas Franco No. 2- 8 gotas	0 ppm- 8.0 ppm
Nitrito	5 gotas	0 ppm- 5.0 ppm
Nitrato	Frasco No. 1 – 10 gotas Frasco No. 2- 10 gotas	0 ppm – 160ppm

4.5 Análisis microbiológico

4.5.1 Toma de muestras de organismos

Se seleccionaron 5 organismos (figura 7) en sus diferentes etapas de desarrollo que presentaran signos clínicos; se transportaron al “Laboratorio de Diagnóstico

Presuntivo de las Enfermedades de Peces del Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Chiapas”. El transporte de los organismos se realizó mediante hieleras o bolsas debidamente etiquetadas.



Figura 7. Muestras de organismos vivos para diagnósticos bacteriológicos.

Lesiones y signología macroscópica externa e interna

Entre los organismos diseccionados en el laboratorio para su posterior diagnóstico, se observó la presencia de lesiones o signos clínicos asociadas a patógenos, los cuales se observaban de manera macroscópica en la parte externa e interna de las tilapias.

Las principales lesiones o signos clínicos que se observaron de manera externa en estos peces fueron (figura 8):

- Hemorragias, podredumbre o deshilachamiento en aletas
- Lesiones, hemorragias, decoloración o podredumbre en piel
- Erosiones cutáneas
- Ascitis
- Exoftalmia o Endoftalmia
- Peces letárgicos
- Úlceras en boca
- Opacidad corneal

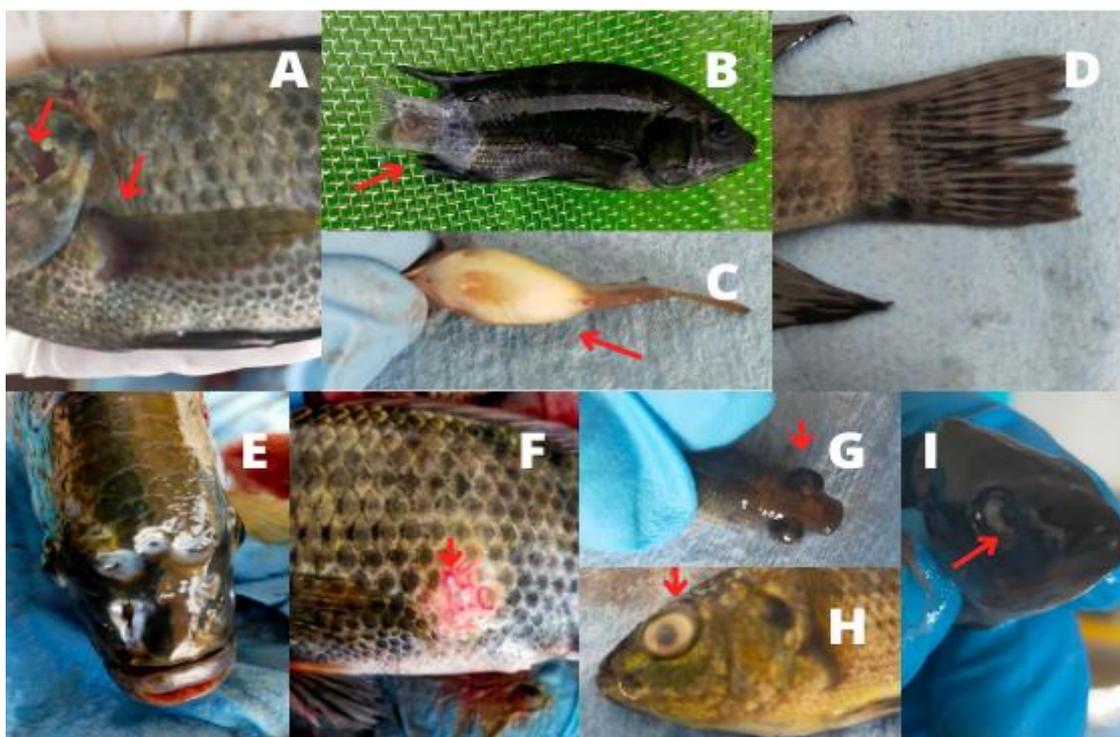


Figura 8. Lesiones externas en organismos diseccionados en laboratorio. A) Decoloración en piel y hemorragia en aleta; B) Podredumbre en piel; C) Ascitis; D) Aletas deshilachadas; E) Erosiones cutáneas; F) Exoftalmia; G) Opacidad corneal; H) Endoftalmia

Entre las principales lesiones internas que se detectaron en los organismos diseccionados se identificaron las siguientes (figura 9):

- Inflamación y/o hemorragia en bazo
- Palidez, hemorragia y/o inflamación en hígado
- Podredumbre, discontinuidad, hemorragia o palidez en branquias
- Hemorragia en cerebro
- Congestión o hemorragias intestinales
- Líquido en la cavidad abdominal

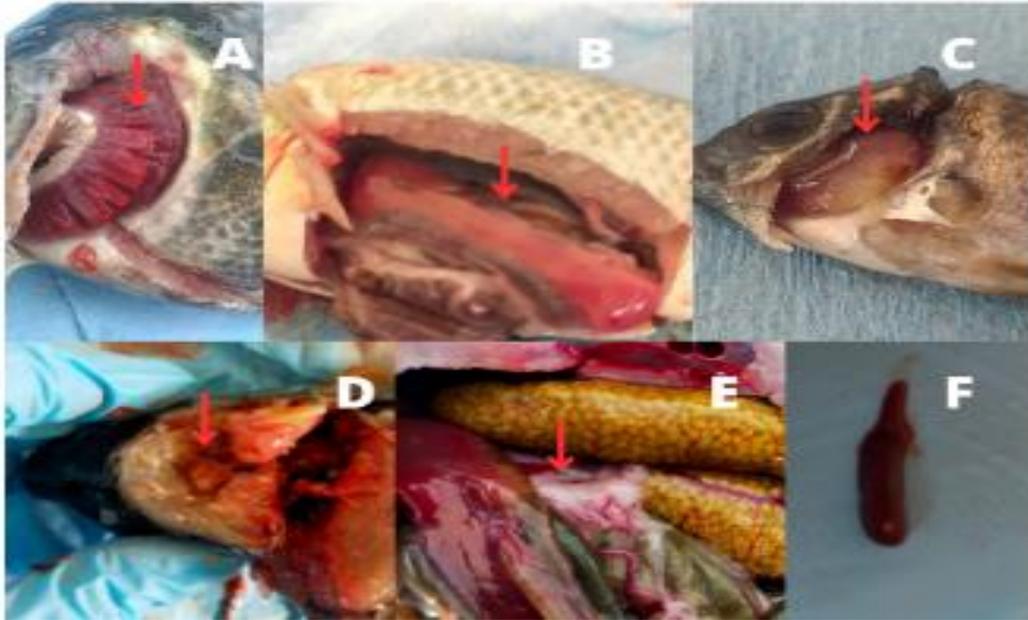


Figura 9. Lesiones internas en organismos diseccionados en laboratorio. A) branquias discontinuas con hemorragia; B) Hemorragia en hígado; C) Podredumbre en branquias; D) Hemorragia en cerebro; E) Hemorragia intestinal; F) Inflamación en bazo

4.6 Análisis Bacteriológico

4.6.1 Disección de los organismos

Para el análisis bacteriológico en el laboratorio se examinaron cada uno de los peces observando debidamente cada lesión que presentaba. Se realizó el procedimiento de disección e insensibilizando al organismo mediante un corte a la altura del caudal del cráneo y el margen superior de los opérculos (figura 10).



Figura 10. Corte para la insensibilización del pez. La flecha verde señala el lugar de corte

Posteriormente, se realizó dos cortes verticales a la altura del ano hasta llegar a la altura de la base de la aleta pectoral (figura 11 A), se realizó otro corte diseccionando él área, se retiró el trozo de musculatura para poder observar correctamente las vísceras del pez (figura 11 B).

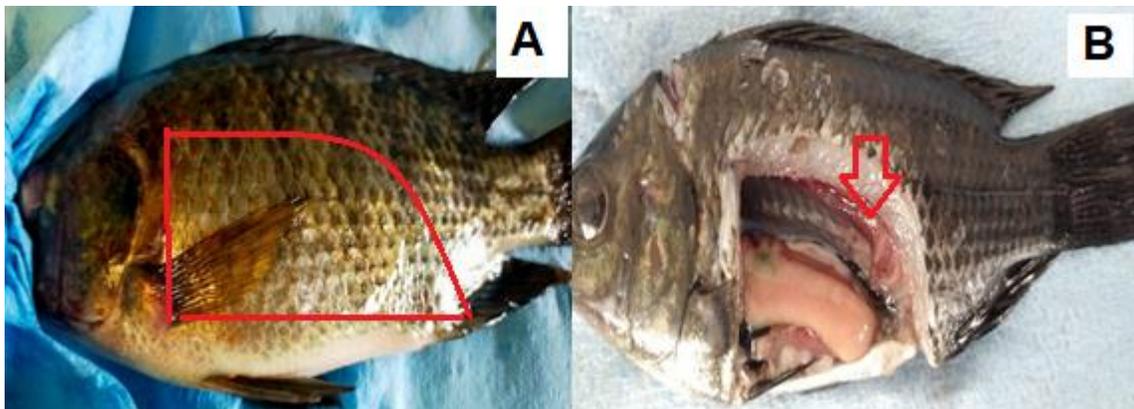


Figura 11. Disección de organismos. A) Las líneas rojas indican el área de corte; B) Observación de las vísceras.

Finalmente se tomaron la muestra de algunos de los órganos los cuales fueron: hígado, bazo, riñón y cerebro (figura 12), estos órganos se aislaron en tubos eppendorf, para su posterior siembre en los agares de enriquecimiento (agar tripticasa soya (TSA) o agar infusión cerebro corazón (BHI))

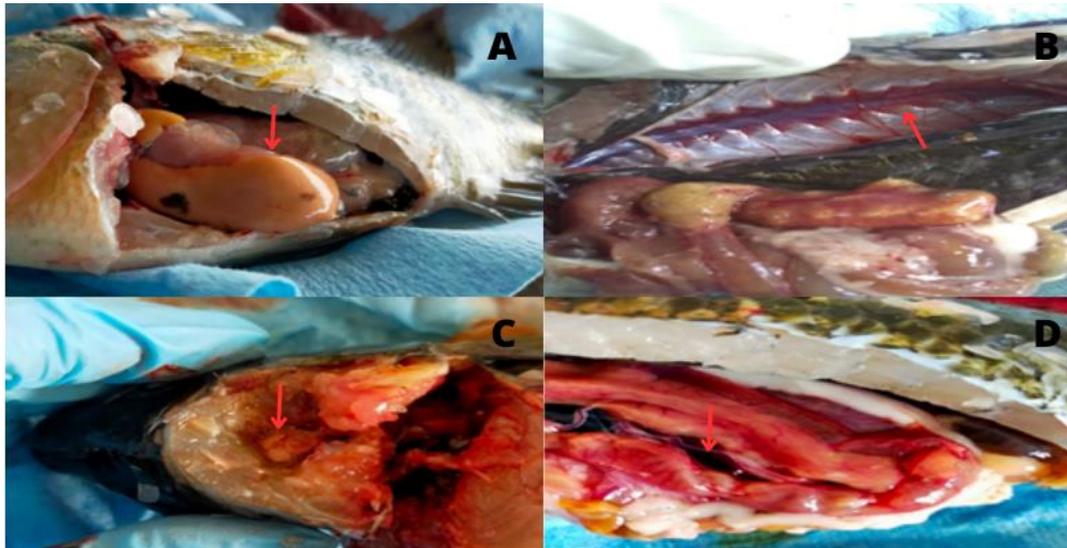


Figura 12. Órganos dianas. A) Hígado; B) Riñón; C) Cerebro; D) Bazo

4.6.2 Siembra en agar de enriquecimiento

Se realizó la técnica microbiológica de siembra por estría en cuadrantes (figura 13) en agares de enriquecimiento no selectivos que son los agares tripticasa soya (TSA) y agares infusión cerebro corazón (BHI), los cuales permite el crecimiento de las bacterias Gram positivas y Gram negativas.

El procedimiento consistió en tomar una porción de los órganos aislados con ayuda del asa bacteriológica previamente esterilizada con ayuda del mechero, luego se procede en extender por estría en cada cuadrante de la caja Petri, este procedimiento se realiza sin flamear nuevamente el asa, una vez cubierto todos los cuadrantes se incuban a 37 °C durante 24 horas. Es importante mencionar que, por cada aislamiento de los órganos diana de los organismos diseccionados se realizaron dos siembras, una como parte del análisis y la segunda siembra como testigo.

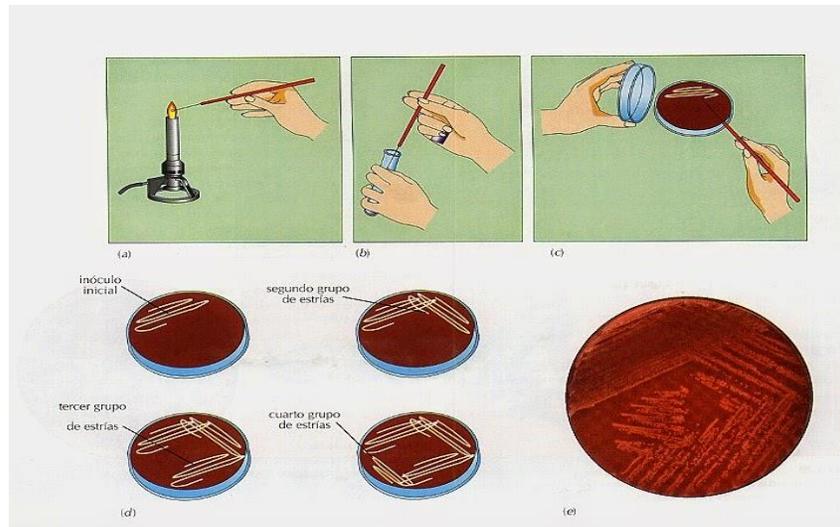


Figura 13. Siembra de cuatro cuadrantes. Fuente: García (2014)



Figura 14. Crecimiento de colonias bacterianas en agar sangre

4.6.3 Siembra en agares selectivos

Posterior las 24 horas de incubación de la muestra en el agar de enriquecimiento (figura 14), se realizó una resiembra en los agares selectivos mediante la misma técnica y procedimiento usado para la siembra en los agares enriquecidos. Los medios de cultivo utilizados son: KF *Streptococcus* agar, *Pseudomonas* agar F, Agar sal y manitol y *Aeromonas* isolation agar, que permiten la identificación presuntiva hasta género de las bacterias.

Después del tiempo establecido para el crecimiento bacteriano en los agares selectivos, se revisó si se presentó crecimiento en cada una de las placas. Se observaron y describieron las colonias para después comparar con las descripciones bibliográficas para cada patógeno. Realizado lo anterior, se procedió a realizar la técnica de Tinción de Gram 1886 de acuerdo a la metodología establecida para dicha técnica.

4.6.4 Identificación microscópica

Como último paso se realizó la observación en el microscopio óptico compuesto con el objetivo 100x añadiendo aceite de inmersión (figura 15). En el caso de las bacterias Gram negativa de *Aeromonas spp.*, se tiñeron de un color rosa o rojo observándose bacilos cortos; las bacterias Gram negativas de *Pseudomonas spp.*, al igual que las *Aeromonas spp.*, se tiñeron de color rosa o rojo, observándose bacilos más alargados; la bacteria Gram positiva de *Streptococcus spp.*, se tiñeron de color violeta, observándose cocos agrupados en cadenas o en parejas; las bacterias Gram positiva de *Staphylococcus spp.*, se tiñen de color violeta, observándose en forma de cocos de manera en racimos irregulares.

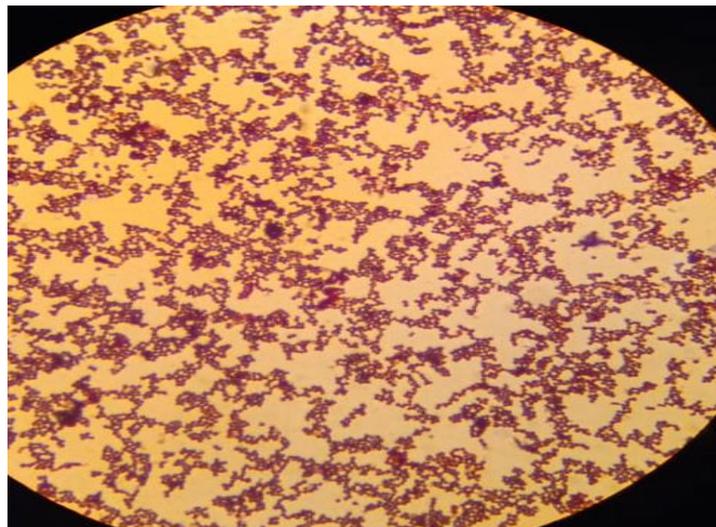


Figura 15. Morfología bacteriana observada en microscopio. La imagen corresponde a la bacteria *Streptococcus spp.* teñida con tinción de Gram

4.7 Análisis de la información

Los datos de los parámetros físico-químicos recabados fueron vaciados a una hoja de cálculo de Microsoft Excel para su posterior análisis. Se realizaron los estadísticos descriptivos y las medidas de tendencia central de los datos provenientes de las mediciones de cada variable y por áreas de la presa, se procedió según el muestreo no probabilístico por conveniencia bajo el esquema de un estudio natural. Además, se realizaron los análisis CLUSTER (análisis jerárquicos), nMDS (non-Metric Multi-Dimensional Scaling) y SIMPROF- test (construcción del perfil de similaridad que consistió en 999 permutaciones al 95% de confianza) por el PRIMER v7 (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research, versión 7).

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Durante el periodo de muestreo del año 2021, se realizaron un total de 303 diagnósticos bacteriológicos en la presa de los cuales 213 diagnósticos fueron realizados para organismos de Unidades de Producción Acuícola (UPA's) y 90 diagnósticos para organismos silvestres.

Datos publicados por CONAPESCA (2015) mencionan que anteriormente en la Presa Nezahualcóyotl se realizaban actividades exclusivamente relacionados a la captura de organismos acuáticos, en los últimos años dentro de la presa se ha presentado un rápido crecimiento de los cultivos de mojarra tilapia en sistemas de jaulas flotantes, incrementando el rendimiento y la producción de los organismos, así como la economía de la región.

5.1 Mortandad de peces durante el 2021

Los mayores reportes de mortalidad se presentaron en los meses de septiembre con 42 reportes en total de los cuales la mayoría fueron en la zona 1 de pesquería (20 reportes) seguido de la zona 2 de UPA's (13 reportes), octubre con 42 reportes en total, la mayoría de los cuales se registraron en la zona 1 UPA's (21 reportes) y Zona 3 UPA's (16 reportes) y diciembre con 43 reportes en total, siendo la zona 1 de pesquería donde se presentó el mayor registro de mortalidad (14 reportes) seguido de la zona 1 UPA's (10 reportes).

Analizando por zonas, en todo el 2021 se registró un total de 55 episodios de mortalidad en la zona 1 UPA's, 76 episodios en la zona 2 UPA's y 82 episodios en la zona 3 UPA's. En cuanto a los registros en pesquería la zona 1 tuvo un total de 77 episodios de mortalidad y la zona 2 un total de 13 episodios. En la figura 16 se observa la variación de las mortalidades por mes y por zona de la presa.

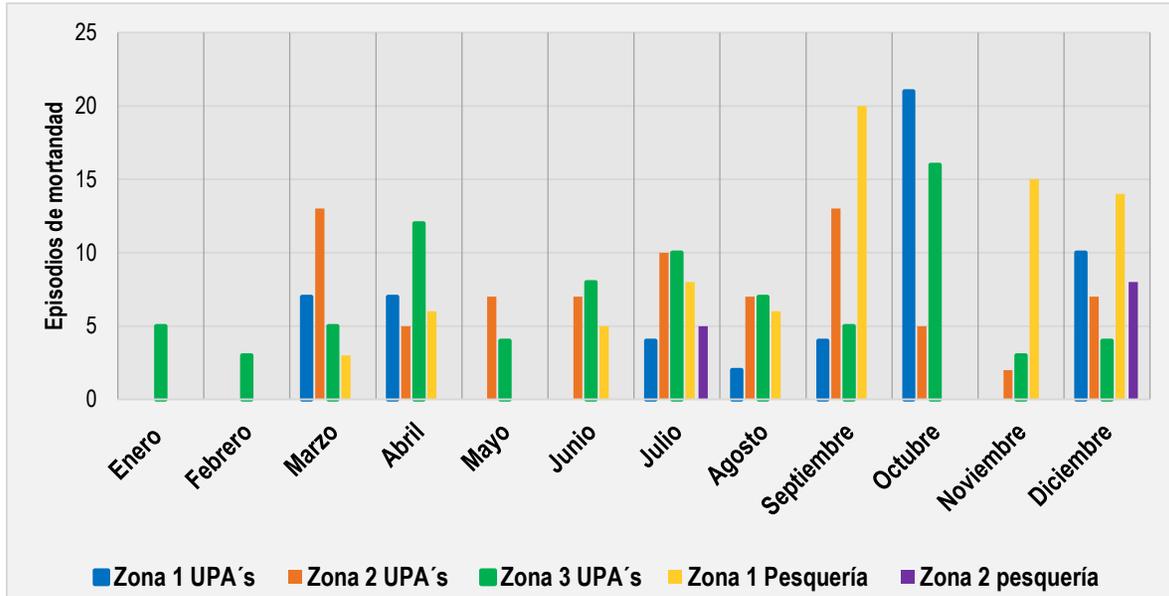


Figura 16. Reportes de eventos de mortalidad en la presa Nezahualcóyotl en el 2021.

UPA's= Unidades de Producción Acuícola

En el 2021 se obtuvo un registro de un total de 76 UPA's presentes en la presa Nezahualcóyotl con un total de 2,290 jaulas. En un estudio realizado por INAPESCA sobre la capacidad de carga en la presa hidroeléctrica Belisario Domínguez (La Angostura) en el 2021, se contabilizó un total de 968 jaulas flotantes en toda la presa, las cuales cubren un total de 3,84 ha de las 60,000 ha que conforman la angostura, mayor área de la que se encuentra en la presa Nezahualcóyotl que tiene 11,000 ha; INAPESCA propone en dicho estudio como parte de las medidas de mitigación a las actividades acuícolas y para evitar problemas ecológicos que las jaulas deben de encontrarse separadas a una distancia de cinco metros una de otra para que su manejo, mantenimiento y para que el acceso a las estructuras sean más sencillo. Dentro del cuerpo de agua de la presa Nezahualcóyotl no se cuenta con un plan de ordenamiento o recomendaciones para ello, esto se observa con la capacidad de carga y su distribución de las UPA's.

En un estudio realizado por Campos (2018), menciona la importancia de desarrollar estudios previos a las instalaciones de producción intensiva en jaulas flotantes, así

como generar estudios de capacidad de carga para evitar que el cultivo genere degradación en los cuerpos de agua. Sierra & Jenaro (2019) mencionan que las excesivas siembras dan como resultados a organismos de menor tamaño, con deterioro de la trayectoria de crecimiento individual y dañan la productividad del sistema. Además, entre mayor sea la densidad de peces en los cultivos mayor será la cantidad de contaminantes que se genera en la producción, esto impacta gravemente a la salud del cultivo y las probabilidades de supervivencia de los peces disminuyen (Paredes & Mendoza, 2022).

A una mayor densidad de siembra de peces por jaula, se espera que se presenten mortalidades ocasionados principalmente por la afectación negativamente a la calidad del agua y por la disminución de la ganancia de peso por organismo individual, esto es causado por la pérdida del apetito de los peces que afecta gravemente la capacidad digestiva de estos organismos (Zapata, 2020). Las enfermedades identificadas en los cultivos de tilapia son ocasionadas por diferentes factores ambientales o de manejo, además, de la presencia de agentes patógenos que se encuentran en el medio ambiente; los factores de estrés ocasionan bajas en el sistema inmunológico de los peces, generando eventos de mortalidad.

La presa Nezahualcóyotl cuenta con el potencial para la conservación de la producción de tilapia en sistemas de jaulas flotantes, sin embargo, es necesario tener en cuenta que si las malas prácticas acuícolas continúan dentro del cuerpo de agua, la propagación de agentes infecciosos se multiplicaran, agravando el estado de salud de los peces, es por ello que los productores de tilapia de la presa deben de ser conscientes de los efectos que los patógenos infecciosos pueden llegar a generar en estos organismos, en especial las cuatro bacterias que se analizaron en el presente estudio, ya que causan problemas de mortandad, particularmente en organismos de agua dulce.

5.2 Calidad del agua de la presa Nezahualcóyotl

Oxígeno Disuelto

De acuerdo a los datos obtenidos en los sitios que presentaron eventos de mortalidad durante el año 2021, se observó que la concentración de OD se mantuvo dentro del rango recomendado por Cline (2012) de 3 a 10 mg/l. La concentración mínima de OD en los sitios con mortalidad fueron siempre mayor a 3 mg/l, sin embargo se puede observar en la figura 17 (A y B) fluctuaciones a lo largo del muestreo en cada zona de la presa que presentó mortalidad. La concentración óptima de OD para tilapia es de 4 mg/l (Conroy y Conroy 2008), Dávalos y Vilela (2019) mencionan que a niveles bajo de OD los peces se estresan y tienen una disminución del apetito. En la mayoría de los meses donde se presentó las mayores incidencias de mortalidad en cada zona (figura 17 A y B), la concentración del OD estaba por encima de los 6.5 mg/l y por debajo de los 7.0 mg/l, excepto en el mes de septiembre en la zona 2 (5.1 mg/l) y en el mes julio en la zona 3 (3.9 mg/l). Lo que indicaría que el OD no guarda relación directa con la mortandad dentro de la presa durante el 2021.

En la figura 17C se observa la formación de grupos estadísticamente similares en cuanto a la variación del OD dentro de la presa, estos grupos tienen tendencia a formarse por la etapa del cultivo y no por la estacionalidad del año. Esto mismo se puede observar en la figura 17A, donde en abril que es mes de cosecha de los peces, se registran las mayores concentraciones de OD en las zonas de producción. Es importante el monitoreo constante, verificando que las concentraciones estén dentro del rango óptimo, debido a que se presentan horas del día en las cuales los peces consumen mayor cantidad del OD, por ello, se debe evitar la sobre carga de población dentro de las jaulas.

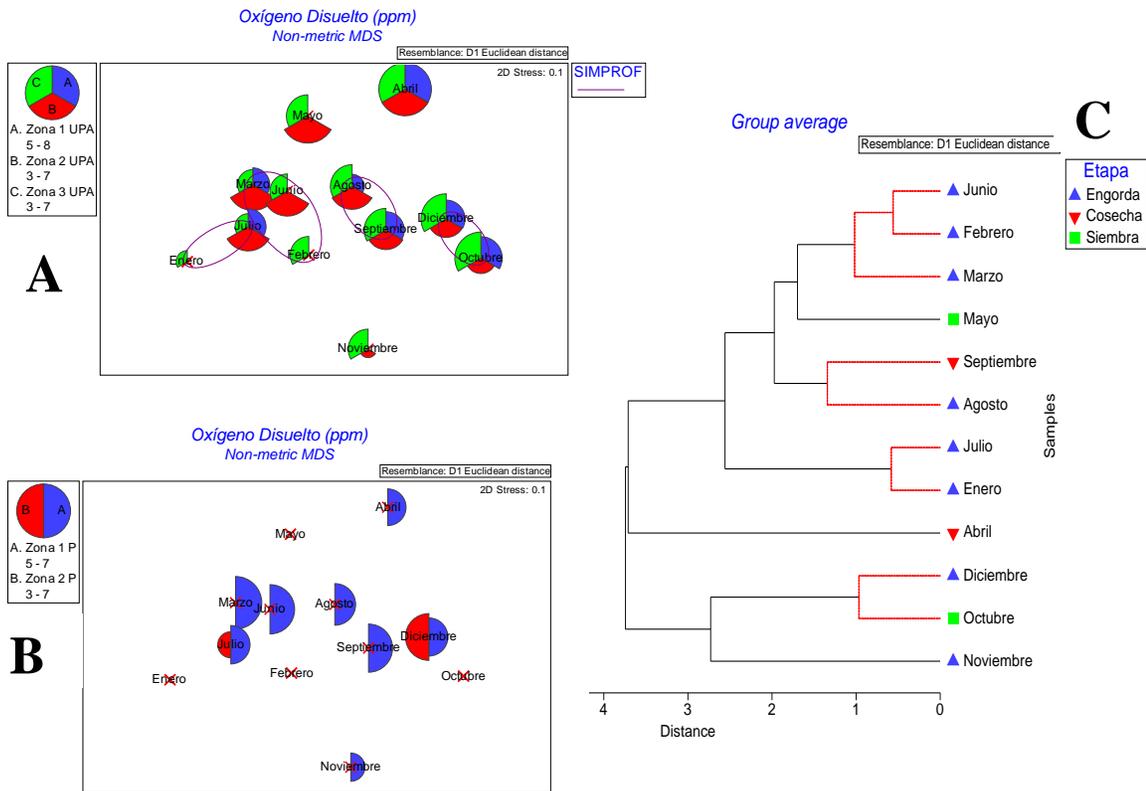


Figura 17. Resultado del análisis del Oxígeno Disuelto (OD) en la presa Nezahualcóyotl en 2021. A. Representación gráfica del Análisis de escalado multidimensional no métrico (nMDS) de la variación de OD en las Unidades de Producción Acuícola. B. Representación gráfica del Análisis nMDS de la variación del OD en zonas de pesquería. C. Análisis CLUSTER del comportamiento del oxígeno según etapa de cultivo de las tilapias. Los círculos y líneas rojas representan las agrupaciones estadísticas de acuerdo al análisis de perfil de similitud SIMPROF.

Existen diferentes factores que pueden modificar el OD presente en el agua. Torres *et al.* (2016) mencionan que la solubilidad del oxígeno se ve afectado principalmente por la temperatura, asimismo se presentan factores secundarios como es el pH, amonio, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), entre otros factores que pueden disminuir o elevar la concentración de esta variable.

Temperatura

La temperatura promedio que se presentó dentro de la presa Nezahualcóyotl durante el periodo de estudio de 2021 fue de 28 °C, siendo la temperatura máxima de 31 °C y la temperatura mínima de 23 °C, mismas que están dentro del rango recomendado para la producción de tilapia según Cline (2012) y Conroy y Conroy (2008). En la figura 18 se puede observar que las mayores temperaturas en el agua de la presa se presentaron en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, al mes inmediato siguiente (octubre) es donde mayor número de incidencias por mortalidad se reportaron entre las UPA's (figura 16), en el caso de los reportes de pesquería es septiembre donde se presentó el mayor número de episodios de mortalidad. En la figura 19 se puede observar el ordenamiento gráfico de la temperatura promedio en cada mes de acuerdo al perfil de similaridad (SIMPROF), así como el dato de la mortandad en cada mes y zona.

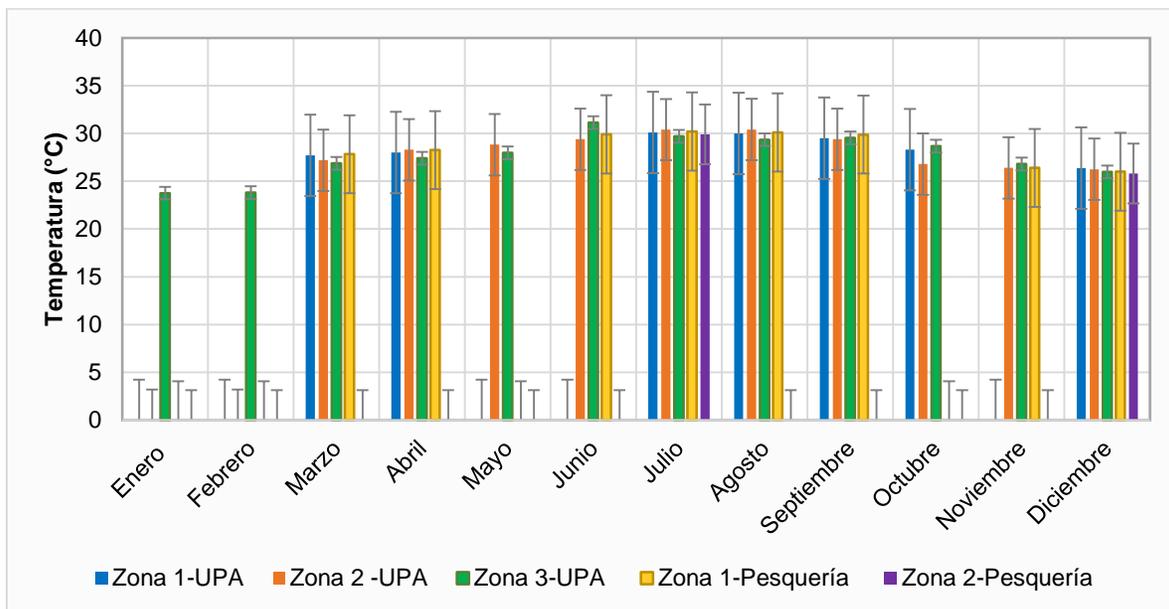


Figura 18. Variación de la temperatura en 2021 durante los episodios de mortandad en la presa Nezahualcóyotl. UPA= Unidades de Producción Acuícola

Comportamiento de la Temperatura en la presa Nezahualcóyotl
Non-metric MDS

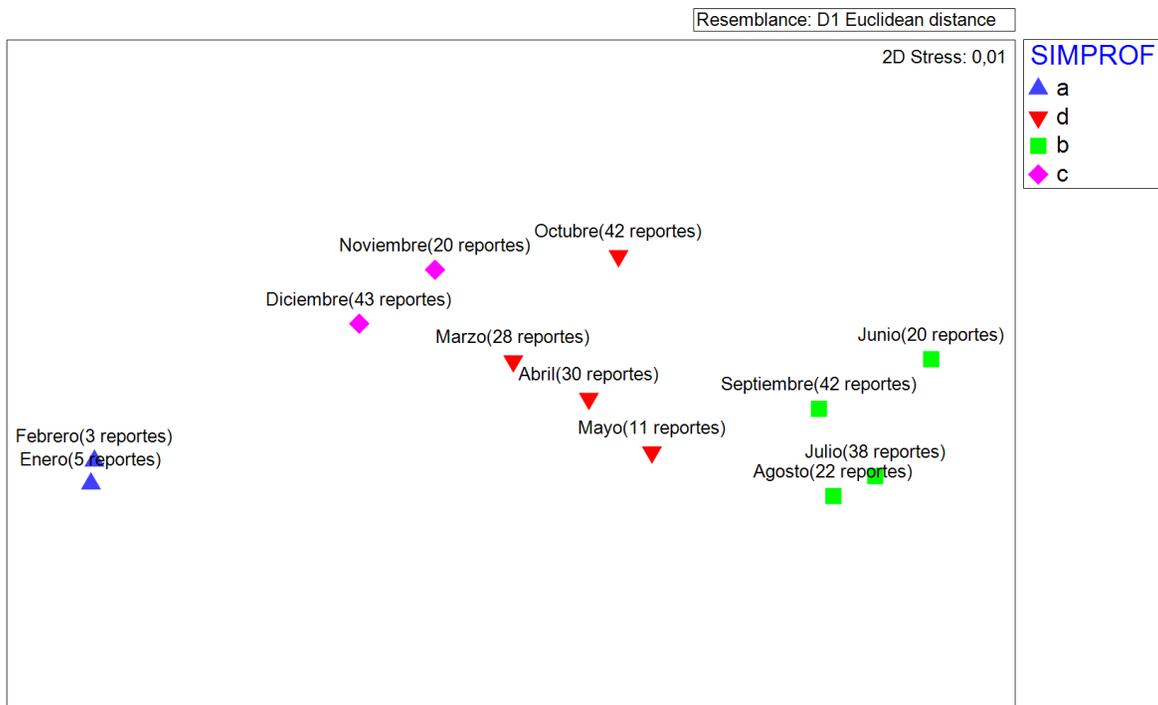


Figura 19. Análisis de escalado multidimensional no métrico (nMDS) de la temperatura promedio en cada mes en la presa Nezahualcóyotl en 2021. Los colores representan las agrupaciones según el análisis de perfiles de similitud SIMPROF.

La tilapia es una de las especies para cultivo más resistentes, Ndong *et al.* (2007) mencionan que las tilapias se pueden estresar con temperaturas excesivamente altas o bajas. Nguyen *et al.* (2002) mencionan que la enfermedad causada por *Streptococcus iniae*, ocurre principalmente durante los meses de temperaturas altas, lo cual se puede transmitir a través de vías de infección, los peces infectados liberan bacterias a través de las heces, estos patógenos sobreviven en el agua y llegan a infectar a otros peces sanos generando problemas de mortandad. Durante el mes de octubre se reportaron 42 episodios de mortalidad en las UPA's, de los cuales en 13 episodios se detectó la bacteria *Streptococcus spp.*, lo que corresponde a un 30% de los casos; cabe destacar que un 66% de los episodios en octubre dieron positivo a algún tipo de patógeno estudiado en este trabajo.

Anshary *et al.* (2014) mencionan en su estudio de organismos cultivados en jaulas, donde la temperatura media del agua fue de 30 °C, que una temperatura alta en el agua aumenta la gravedad de la estreptococosis en las tilapias cultivadas en jaulas. Briones *et al.* (2017) mencionan que al aumentar la temperatura del agua se acelera el metabolismo en los peces, generando el incremento de las excretas, lo que puede provocar que las aguas se puedan eutrofizar y por lo tanto existan una proliferación de patógenos. La acumulación de las excretas y el estrés de estar varios meses alrededor de los 30°C, sea la posible razón del aumento de los casos de mortalidad en septiembre y octubre en la presa, así como su alto porcentaje de estos a la presencia de patógenos. Cabe mencionar que lo anterior no parece guardar relación con el alto número de casos en diciembre.

pH

Durante el periodo de estudio se registró un promedio de pH de 7.4, cuyos valores oscilaron entre los 7 y 8 (figura 20), rango dentro de lo sugerido para el cultivo de tilapias (Conroy y Conroy 2008). Moreno (2021) realizó un monitoreo de calidad del agua para cultivo de tilapias en donde obtuvo niveles de pH entre los 7.2 a 8.5, considerados aceptables para la cría y crecimiento de este pez, al ser aguas ligeramente alcalinas las tilapias no tienen problemas para sobrevivir y los niveles de estrés son mínimos. El pH es una variable que indica si los peces se han de adecuar o no al medio (González, 2021).

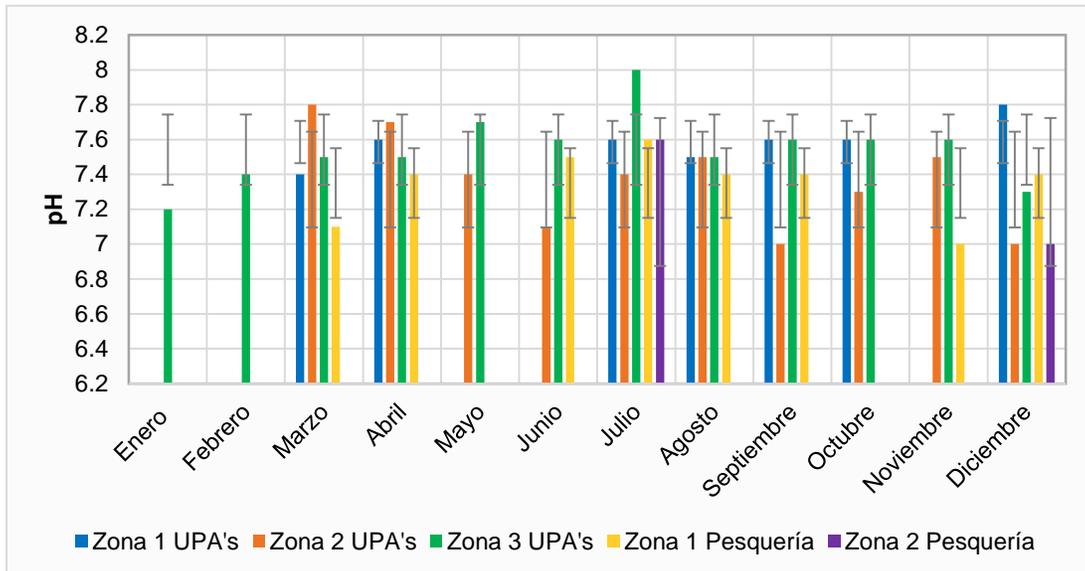


Figura 20. Gráfico de la variación del pH en la presa Nezahualcóyotl en 2021. UPA's= Unidades de Producción Acuícola

Sin embargo, Tomaz *et al.* (2016) reportaron que la acidificación del agua hasta un pH de 5.5, no afecta el crecimiento de los alevines de tilapia del Nilo, por lo cual proponen que el rango adecuado de pH del agua para criar tilapia de Nilo debe de extenderse de los 5.5 a 9. Lo anterior difiere con los resultados de una investigación de producción de tilapia realizado por Valenzuela (2018), quien de acuerdo a sus resultados menciona que los peces en un ambiente ácido (pH de 5.75) puede afectar al aparato respiratorio y a la pigmentación de los peces. Por su parte, Leal (2017) realizó una investigación de cultivos de peces con diferentes concentraciones de pH (6 a 9) donde se observó que a un pH superior a 8, se presentaba una disminución significativa en el peso de las tilapias, por lo tanto, concluyeron que esta es una especie acidófila de agua dulce.

Briones *et al.* (2017) mencionan que el pH fluctúa considerablemente con la profundidad del agua, debido a que está estrechamente relacionado a la concentración de dióxido de carbono. A medida que transcurre el día, con la presencia de luz solar, la temperatura del agua aumenta y el fitoplancton produce oxígeno, por lo que aumenta el pH y la temperatura. Tal como se observa en la figura 17, durante este estudio no se superó el pH 8 y tampoco se estuvo en los rangos ácidos, sin embargo la variación del pH igual puede tener relación con los

residuos del alimento de los peces. Con los datos obtenidos y las variables consideradas en este estudio, no parece tener relación directa el pH con el problema de mortandad.

Amonio (NH₄⁺)

Como resultado del monitoreo de amonio en la presa Nezahualcóyotl en el 2021 se encontraron los valores de esta variable entre un rango de 0 a 0.025 mg/l (figura 21), con lo cual el amonio estuvo dentro de lo óptimo (<1 mg/l) para el cultivo de tilapia (Conroy y Conroy, 2008).

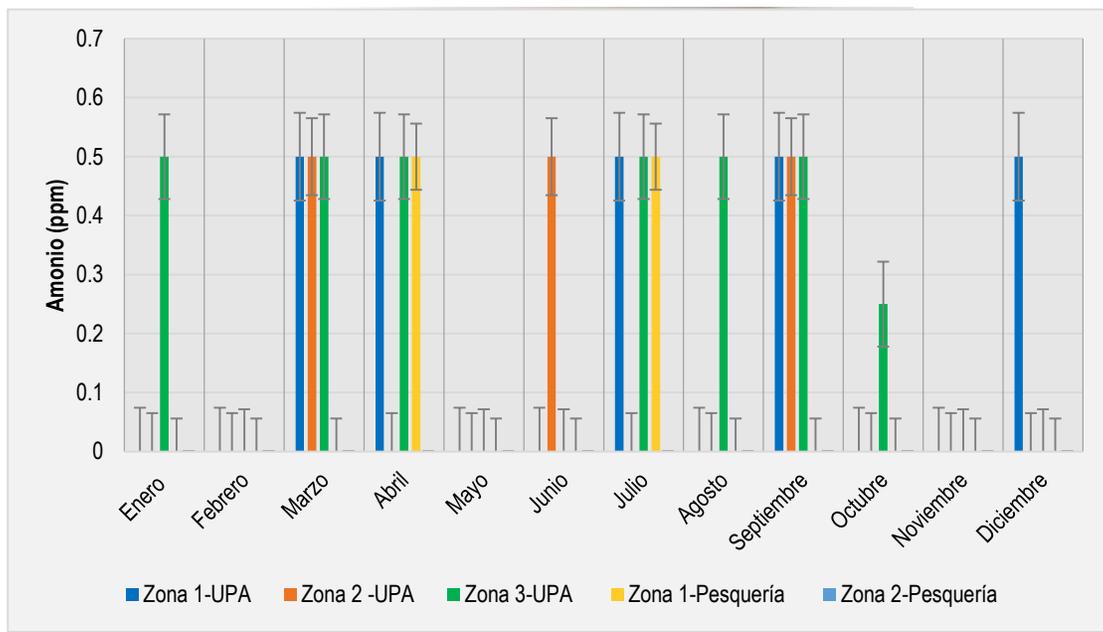


Figura 21. Gráfico de comportamiento del amonio en la presa Nezahualcóyotl en 2021. UPA's= Unidades de Producción Acuícola

Marcel *et al.* (2013) reportaron en su estudio que la mortandad de peces observada en el río Semantan, Malasia, estaba asociada con el alto nivel de amonio que se presentó, debido a que superó los límites aceptables para el cultivo de peces, la elevada cantidad de amonio en el agua se genera principalmente por el alimento que les suministraban a los peces. Lo que coincide con los resultados que se obtuvieron en el presente estudio, debido a que las zonas que registraron niveles de amonio fueron las áreas de estudio en UPA's, esto se debe al exceso de alimento que se introduce en el agua.

Ismail *et al.* (2016) mencionan que el amoniaco que se encuentra en los cuerpos de agua es originado por las heces de los peces y por el exceso de alimento que se les suministran a estos organismos, al igual que las diversas actividades que se realizan a lo largo de los cuerpos de agua que aumenta la concentración de esta variable.

Vásquez *et al.* (2016) mencionan que el amonio es un producto tóxico, a pH ácido se transforma en ion amonio (forma ionizada) el cual no es tóxico, pero cuando el pH es básico el amonio se convierte en un producto tóxico para los organismos.

Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-)

Los valores registrados para los parámetros de nitritos y nitratos monitoreados para este estudio fueron de 0 ppm lo cual se encontró dentro de lo óptimo, sin embargo, Morata (2013), menciona que existe una relación entre los sedimentos que se encuentran bajo las ubicaciones de las jaulas flotantes y la concentración de nitrato en el agua que se encuentra en el fondo, lo que puede generar niveles altos de nitratos durante el verano.

Valenzuela (2018) menciona que el nitrito fue uno de los valores más alarmantes en cultivos de peces, debido a que supero los límites óptimos para el cultivo de los organismos, pero su toxicidad no fue elevada ya que se presentó una oxigenación alta y un pH ácido, lo que generó una disminución en el nivel de toxicidad del nitrito. Briones *et al.* (2017) mencionan que el agua presentó una concentración de nitritos de 0.024 mg/L, a pesar de ello se detectó el crecimiento de las tilapias, sin embargo, este parámetro fue un factor de gran importancia para la presencia de patógenos bacterianos.

Por otra parte, Arámbul (2016) menciona que los nitritos presentaron valores de 0 a 0.5 mg/l, registrando las mayores concentraciones entre los meses de junio a agosto, lo mismo observaron con los nitratos, detectando un aumento de la concentración a partir del mes de junio, manteniéndose mayor a los 3 mg/l hasta el mes de agosto, determinando que existe un aumento en las concentraciones de estas variables con respecto a la cercanía con los sistemas de jaulas flotantes,

además, el comportamiento de las variables lo relacionaron con los cambios causados por las distintas estaciones del año.

5.3 Mortandad bacteriana

De los diagnósticos realizados en el presente estudio el 60% resultaron positivos a la presencia de patógenos bacterianos. En las zonas de estudio de UPA's *Streptococcus spp.* fue el patógeno bacteriano que se detectó con mayor incidencia a lo largo del periodo de muestreo (figura 22), es decir, es la bacteria que se presenta en todos los meses del año en el 2021. Jiménez *et al.* (2007) mencionan que la estreptococosis actualmente es considerada uno de los problemas sanitarios más importantes a nivel mundial para los cultivos acuícolas, genera pérdidas por mortalidad en los cultivos, aumenta costos por tratamiento, disminuye el crecimiento de los organismos y dificulta la comercialización del producto final.

A partir de la figura anterior se puede observar que la bacteria de *Aeromonas spp.* fue el patógeno que se asoció a más eventos de mortalidad en las tres zonas de estudio para UPA's. Pulido (2019) menciona en su estudio que la bacteria *Aeromonas spp.* es un patógeno ubicuo de los sistemas acuáticos, es decir, que en todo momento los peces están conviviendo con ella y cuando las condiciones le favorecen infectan a los organismos causando la enfermedad, presentándose en cualquier momento del ciclo de cultivo. La bacteria de *Aeromonas spp.* se detectó con mayor frecuencia en los episodios de mortalidad de julio y agosto, que fueron los meses con registro de niveles de temperaturas más elevadas dentro de la presa Nezahualcóyotl en el 2021.

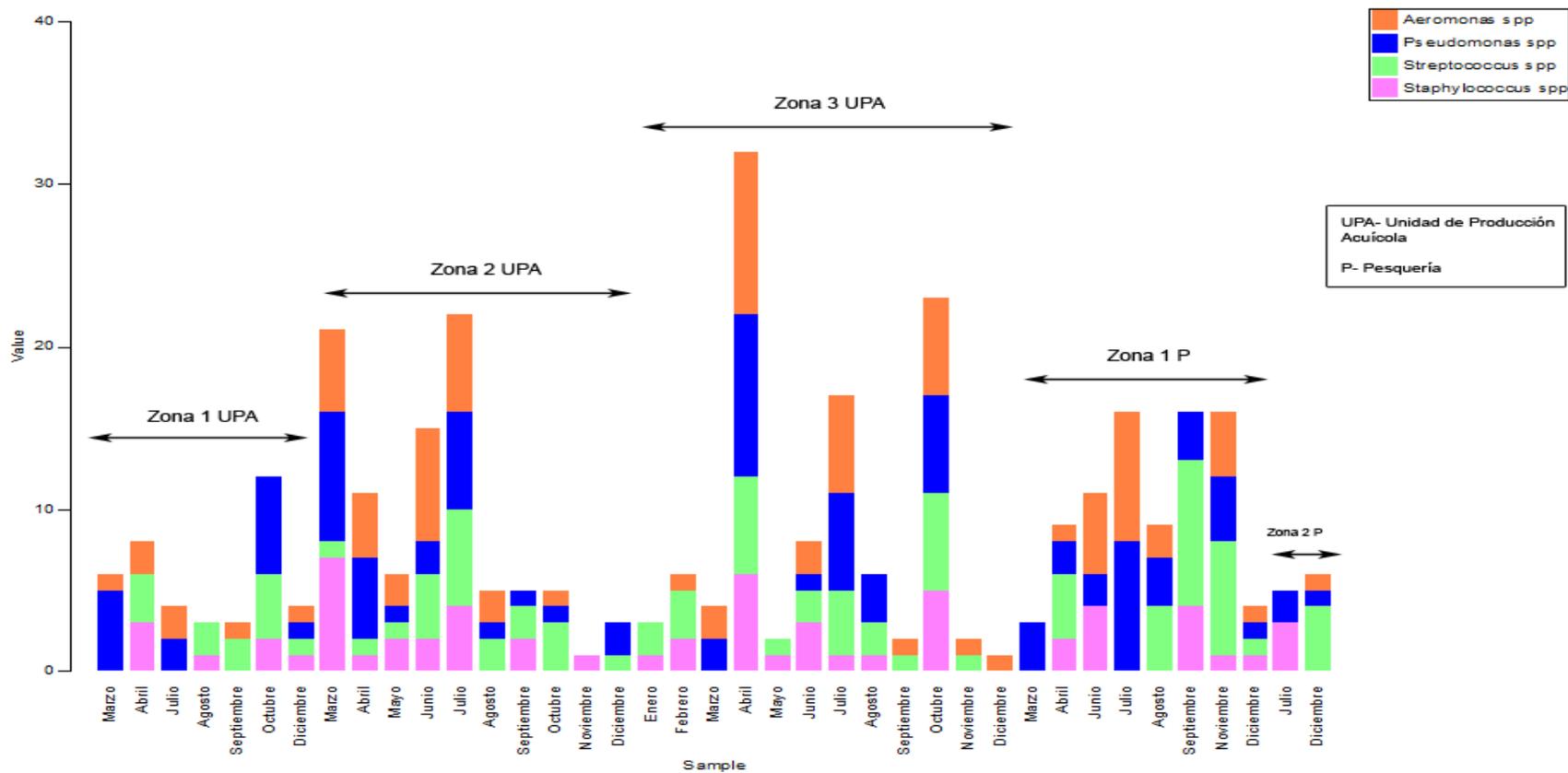


Figura 22. Resultados bacteriológicos en las zonas de estudio en 2021. Los colores de las barras corresponden a las frecuencias de cada bacteria patógena del estudio.

La bacteria que se encontró con menor incidencia durante el periodo del muestreo en UPA's fue la bacteria de *Staphylococcus spp.* (figura 22). Oviedo (2020) menciona que la presencia de esta bacteria se encuentra asociada con la contaminación introducida por la manipulación del alimento, el incumplimiento de buenas prácticas de manufactura o la utilización de materia prima contaminada.

En las zonas de estudio para organismos de vida libre, se detectó que la bacteria de *Pseudomonas spp.* fue el principal patógeno asociado a los reportes de mortalidad durante el 2021. Perretta (2016) menciona en su estudio que las *Pseudomonas spp.* son bacterias oportunistas que se encuentran en forma natural en todos los ambientes (acuáticos, terrestres y en la atmósfera), incluso forman parte de la flora del intestino de los peces, hasta que diferentes factores pueden generar cambios tanto en el hospedador (pez) o en la expresión y abundancia de la bacteria, lo que propicia la enfermedad.

El 60% de mortandad bacteriana se debió a coinfecciones, la más frecuente fue entre las bacterias de *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* (figura 23), seguido por la coinfección entre *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas spp.* y *Streptococcus spp.* Castro (2020) menciona que las enfermedades infecciosas no son exclusivamente causadas por un taxón bacteriano, puede presentarse una interacción entre dos o más bacterias e incluso entre bacterias y virus.

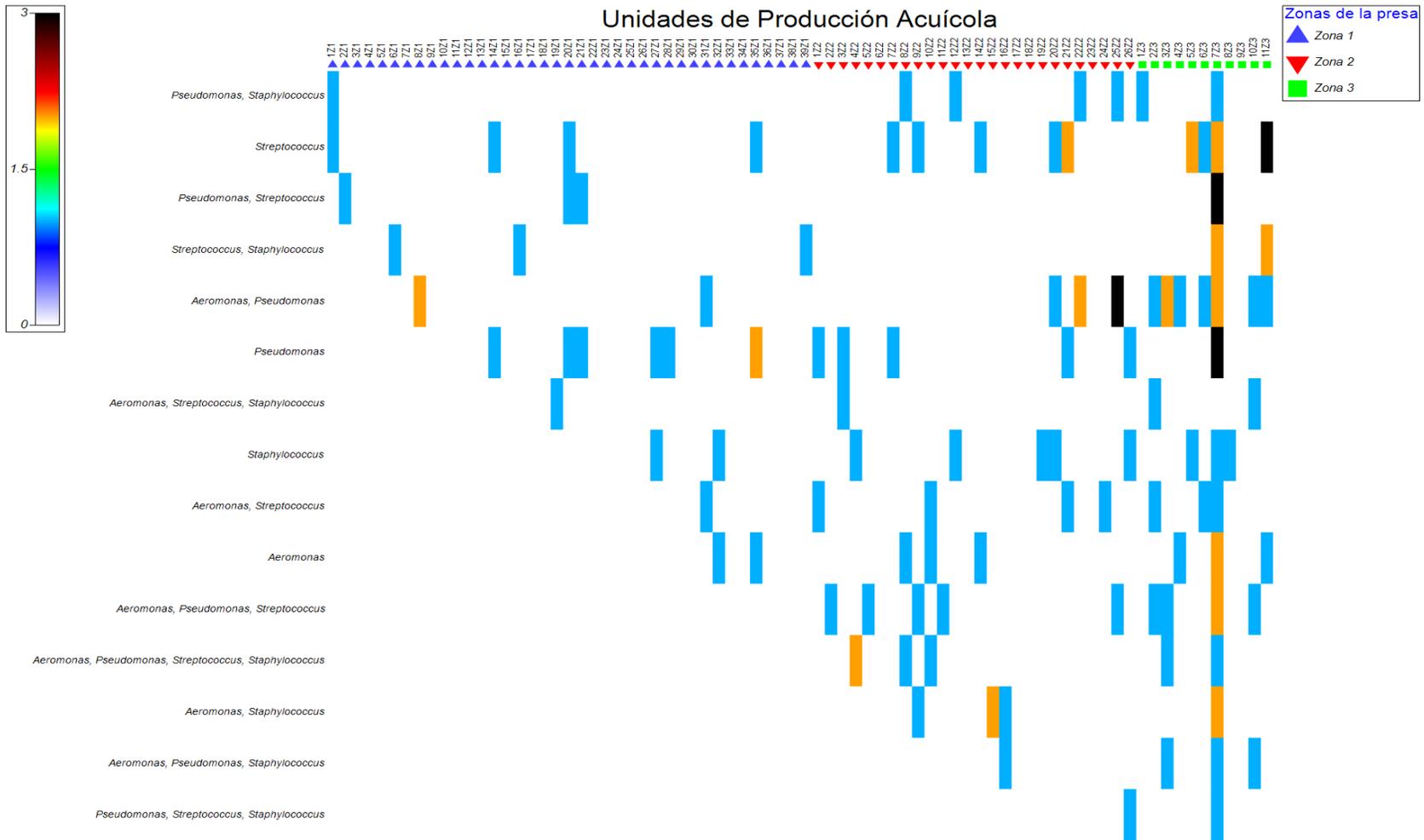


Figura 23. Coinfecciones en UPA´s de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl en 2021. Las figuras geométricas y colores representan las zonas de estudio dentro de la Presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl.

Assis *et al.* (2017) realizaron un muestreo de tilapias de Nilo en Brasil, donde obtuvieron como resultado que el 13% de los peces mostraron una coinfección por *Streptococcus spp.* y otros genotipos de bacterias, mencionando que la hipoxia crónica y la reducción de la temperatura del agua fueron factores de riesgo para la coinfección que presentaron los organismos analizados.

Asimismo, Puneeth *et al.* (2022) obtuvieron como resultado de su estudio con Tilapias cultivadas en India que la coinfección entre *Aeromonas hidrófila* y *Streptococcus iniae*, condujo a una mayor mortalidad en comparación con la infección con cepas individuales. Por lo contrario, Flores *et al.* (2021) obtuvieron como resultado que el 8% de la mortandad en peces de vida libre en Nicaragua fue debido a la coinfección entre las bacterias de *Vibrio spp.* y *Staphylococcus spp.*

Basri *et al.* (2020) reportaron que en tilapias cultivadas en Malasia, el 50% de los peces muestreados presentaron una coinfección entre bacterias y virus, este efecto sinérgico genera una mayor gravedad en las enfermedades de los peces, lo que llevaría a una alta tasa de mortalidad, siendo una amenaza potencial para la industria acuícola. Las coinfecciones se han asociado como impactos negativos graves en los peces susceptibles, alterando el curso de la enfermedad y aumentando la gravedad a través de interacciones sinérgicas (Abdel *et al.*, 2020).

5.3.1 Análisis mortandad bacteriológica por zona de estudio

Zona 1. Apic-Pac (UPA´s)

En la zona 1 en el 2021 se contabilizaron 39 UPA´s, de las cuales el 46 % notificaron reportes de mortalidad. Se realizaron un total de 55 diagnósticos bacteriológicos, resultando el 49% positivos a la presencia de patógenos bacterianos.

De las bacterias que se analizaron en este estudio, *Pseudomonas spp.* fue el patógeno con mayor frecuencia en esta zona con 14 episodios positivos. Nesrine *et al.* (2023) mencionan en su estudio en filetes de pescado fresco, que el 52% de las muestras analizadas de filetes presentaron una carga de *Pseudomonas spp.*; las cargas de estos patógenos en los filetes fueron mayores en el periodo de abril a mayo lo que se lo atribuyen al aumento de la temperatura.

En el caso de *Streptococcus spp.*, se encontró con un 44% de frecuencia en esta zona (12 episodios). En un estudio realizado por Anshary *et al.* (2014), se encontró que los organismos de 1 a 4 meses de siembra fueron aparentemente los más susceptibles a la enfermedad.

Las bacterias de *Aeromonas spp.* y *Staphylococcus spp.* se presentaron con un 25% de frecuencia en esta zona. Dong *et al.* (2017) realizaron un experimento de infección por la bacteria de *Aeromonas spp.* en peces donde la mortandad fue 100% en las primeras 24 horas, esto confirma el grado de virulencia que genera esta bacteria en tilapias.

Asimismo, se presentaron diferentes coinfecciones en las zonas de estudio, la más frecuente fue *Pseudomonas spp.* y *Streptococcus spp.*, seguida de la coinfección entre *Streptococcus spp.* y *Staphylococcus spp.* (figura 23). En la figura 24, se detalla las posiciones georeferenciadas de las UPA's con resultados positivos a mortandad bacteriana, en la zona 1 destaca la UPA 20 como la de mayor caso de mortandad bacteriana, seguida de la UPA 14 y 35.

Masjuán *et al.* (2017) mencionan que para las instalaciones de sistemas de cultivo en jaulas flotantes es importante identificar las zonas que cumplan con los requisitos ambientales de la especie objeto de cultivo, además los flujos de agua deben de permitir una renovación continua que garantice la protección del sistema.

Zona 2. Puente Chiapas (UPA´s)

La zona 2 de estudio en el 2021 se contabilizaron 26 UPA´s, de las cuales el 84% reportaron problemas de mortalidad. Durante el periodo de estudio en esta zona se realizaron un total de 76 diagnósticos bacteriológicos, de los cuales el 64% fueron positivos a la presencia de patógenos bacterianos.

Los principales patógenos identificados en esta zona fueron las bacterias de *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.*, con 27 episodios cada uno. En un estudio publicado por Osman *et al.* (2007) donde se realizó en tilapias infecciones dirigidas, se identificó que los principales patógenos bacterianos en la acuicultura son *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* Esto coincide con los resultados de esta investigación.

El 62% de mortandad por bacterias corresponden a las coinfecciones de las cuales el 53% de estas son con la presencia de *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* (figura 23). En un estudio realizado por Ahmed & Manal (2020) se menciona que la tasa de mortalidad de organismos de tilapia negra por *Aeromonas hydrophila* y *Pseudomonas fluorescens* fue 42.75% y 37.5% respectivamente, resaltando que estos patógenos bacterianos causan enfermedades en diferentes especies de peces y son invasores secundarios del tejido herido causando enfermedades en peces estresados.

Las bacterias *Streptococcus spp.* y *Staphylococcus spp.* en la zona se identificó en 21 episodios y 19 episodios respectivamente. En tilapias cultivadas en Colombia se identificó que el principal patógeno responsable fue la especie *Streptococcus agalactiae* (Jiménez *et al.*, 2007). En la zona 2 de estudio la UPA 21 destaca como la de mayores casos de mortandad bacteriana, seguida por la UPA 9 (figura 24).

Zona 3. La Venta (UPA´s)

La zona 3 fue el área de estudio con menos instalaciones de UPA´s, sin embargo, fue la zona con mayor número de reportes de mortalidad. Durante el periodo de estudio en esta zona se contó con 11 UPA´s, de las cuales el 90% notificaron

problemas de mortalidad, se realizó un total de 82 diagnósticos bacteriológicos con el 68% de resultados correspondientes a patógenos bacterianos. En esta zona se presentaron reportes de mortalidad durante todos los meses del periodo de estudio, siendo octubre el mes con mayores números de reportes de mortalidades. Cabe mencionar que la localización de las UPA's en esta zona tienen la característica de encontrarse cerca de las orillas de la presa.

La bacteria con mayor frecuencia en dicha zona fue *Aeromonas spp.* con 30 episodios, seguido por la bacteria de *Pseudomonas spp.*, lo que coincide con los principales patógenos Gram negativos encontrados en la zona 2. Carnevia *et al.* (2010) mencionan que la infección por *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* en cultivos de peces es la más común, debido a que suelen estar siempre presentes en los sistemas acuáticos y actúan como patógenos oportunistas. Cabe destacar en esta zona la presencia de *Streptococcus spp.* (Gram positiva) en 28 episodios de mortandad bacteriana. En una investigación realizada en Indonesia por Handayani *et al.* (2018) se menciona la identificación de 37 aislamientos bacterianos, de los cuales el 59% fueron Gram negativas y el 40% Gram positivas, y se relacionó que las bacterias Gram negativas causan mayor daño en tilapias que se encuentran en cautiverio. Lo anterior coincide con los resultados de Marcel *et al.* (2013), que identificaron a las bacterias Gram negativas como los patógenos más predominantes en tilapias, que la presencia de estas bacterias varía conforme a la fuente de agua, el nivel de contaminación en el medio o por la flora normal de los peces de agua dulce.

La bacteria que se detectó con menos frecuencia (20 episodios) en esta zona de estudio fue *Staphylococcus spp.* Conroy (2007) menciona que esta bacteria se transmite a los peces por el contacto que se tiene con el hombre. Sin embargo, Atyah *et al.* (2010) encontró en su estudio que el 35% de 559 aislamientos en tilapias cultivadas corresponde a *Staphylococcus aureus.*, por ello se considera que la propagación de esta bacteria se ha presentado en aumento en la última década y los peces ya conviven con este patógeno.

La unidad de producción con mayores notificaciones de mortandad y episodios de resultados positivos a la presencia de patógenos bacterianos fue la UPA 7 (figura 24), donde se identificó todos los patógenos estudiados tanto aislamientos únicos como coinfecciones.

Zona 1. Apic-Pac (pesquería)

En la zona 1 de estudio para pesquerías se realizaron un total de 77 diagnósticos, resultando el 77% positivos a la presencia de patógenos bacterianos.

Pseudomonas spp. fue la bacteria que se detectó con mayor frecuencia en dicha zona con 26 episodios, seguido por *Streptococcus spp.* con 25 episodios. Medina (2010) menciona el aumento de enfermedades infecciosas en especies silvestres, debido a cualquier elemento que altere la ecología del ecosistema y la ecología de la enfermedad, tal es el caso la introducción de especies. Las nuevas especies que se introduzcan en un ecosistema actúan como nuevo huéspedes o reservorios de los patógenos y favorecen la transmisión entre ellos. Considerando la densidad de población de las especies introducidas y el aumento de unidades de producción, estas especies al estar en espacios reducidos, favorece la transmisión de las enfermedades con el riesgo de infectar a la población residente.

En un estudio realizado en Chile por Fortt *et al.* (2007), se obtuvo como resultado que los peces silvestres de las zonas costeras que viven alrededor de los recintos de acuicultura, ingieren todos los residuos que son liberados por los peces que se encuentran en cautiverio, así como todo el alimento que no es ingerido por los peces de cultivo, siendo expuestos de manera involuntaria a los diferentes problemas que puedan presentar los peces que se encuentran en cautiverio.

Zona 2. La Venta (Pesquería)

En la zona 2 de pesquería se notificaron menores números de reportes de mortandad, siendo julio y diciembre los únicos meses que los pescadores de la zona reportaron problemas con los organismos silvestres. Se realizaron un total de 13 diagnósticos bacteriológicos, obteniendo un 76% de resultados positivos a la presencia de patógenos bacterianos.

Streptococcus spp. fue la bacteria que se detectó con mayor frecuencia con 4 episodios, seguido por las bacterias de *Pseudomonas spp.* y *Staphylococcus spp.* con 3 episodios cada una. Novacovsky *et al.* (2021) identificaron que los peces en condiciones de cautiverio pueden tener una mayor prevalencia y susceptibilidad a la enfermedad que presentan los peces silvestres, además, una combinación de factores puede facilitar la transmisión, como la deficiencia de nutrientes, la edad de los peces y la alta densidad de huéspedes disponibles. Lo anterior coincide con un estudio previo realizado por el Instituto de Fomento Pesquero (2011) sobre el riesgo de transmisión horizontal de enfermedades entre peces cultivados y peces silvestres, cuyo resultado fue una baja probabilidad de transmisión del agente patógeno entre los peces silvestres a peces cultivados, así como la poca existencia de transmisión horizontal entre organismos que no son de la misma especie.

Alegría (2010) menciona en su estudio que algunos patógenos desconocidos se encuentran en forma endémica entre los peces nativos sin causar daños aparentes, por lo cual es posible que estos peces nativos actúen como reservorio para múltiples patógenos etiológicos, dificultando la prevención, control y erradicación. Román *et al.* (2009) mencionan que existen diferentes enfermedades que representan un riesgo potencial para la acuicultura, así como la existencia de peces silvestres portadores de enfermedades capaces de transmitirlo a los organismos que se encuentran en los cultivos de jaulas.

5.3.2 Identificación de bacterias en órganos diana

Durante la disección para la identificación de patógenos bacterianos en las muestras recolectadas, se aislaron cuatro de los órganos diana presentes en tilapia (hígado, bazo, cerebro y riñón) para su posterior análisis.

Como resultado de este análisis se obtuvo que las bacterias de *Pseudomonas spp.* (91.30%), *Aeromonas spp.* (89.41%) y *Staphylococcus spp.* (78.94%) fueron los patógenos que se detectaron con mayor frecuencia en el bazo, a diferencia de la bacteria de *Streptococcus spp.* (92%) que fue en el cerebro. El riñón e hígado son los órganos diana que presentaron menor infecciones (cuadro 8). Soto (2010), detectó que las bacterias patógenas predominantes en hígado y bazo de tilapia son

las bacterias de *Aeromonas spp* y *Pseudomonas spp*. A su vez Perretta (2016) menciona en su reporte de aislamiento de bacterias móviles en peces de Uruguay, que *Aeromonas spp*. se encontró mayormente en el órgano de riñón.

Cuadro 8. Porcentaje de incidencia de las bacterias en órganos aislados

Órganos	Bacterias			
	<i>Aeromonas spp.</i>	<i>Pseudomonas spp.</i>	<i>Streptococcus spp.</i>	<i>Staphylococcus spp.</i>
Bazo	89%	91%	0%	78%
Cerebro	0%	0%	92%	0%
Riñón e hígado	10%	8%	8%	21%

Salvador *et al.* (2005) realizaron un estudio sobre caracterización de la bacteria de *Streptococcus spp.* en tilapias del Nilo en Brasil, en donde aislaron la bacteria en muestras de cerebro, hígado, riñón y de líquido ascítico, como resultado de ello, identificaron que la bacteria de *Streptococcus spp.* predominó en el cerebro. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Ortega *et al.* (2017), quienes detectaron que el cerebro era el órgano más afectado por *Streptococcus spp.*, por ello la importancia de diagnósticos dirigidos en cerebro para la detección de *Streptococcus spp.*

5.4 Áreas de menor riesgo sanitario

En la figura 25 se puede observar la división de la presa en dos zonas, en la zona 1 se presentaron mayores reportes de mortalidad y densidades altas de población, lo que ocasiona el aumento de propagación de infecciones entre los peces que se encuentran en cautiverio y los de vida libre. En la zona 2 los problemas por patógenos bacteriano se encontraron asociadas al manejo inadecuado que los productores o encargados les brindan a los cultivos, además en esta zona las UPA´s se encuentra mayormente cercanas a las orillas de la presa, por lo cual existen concentraciones de sedimentos donde las poblaciones bacterianas pueden encontrarse, esto aumenta la propagación de patógenos.

Ornelas et al. (2017) mencionan que las mortalidades elevadas que se presentan en la producción de tilapia se encuentran asociados al inadecuado manejo del cultivo, además el brote por patógenos se presenta cuando el sistema inmune de los peces se modifica a consecuencia de altas densidades de siembra.

En la zona 1 se encuentran menos puntos representativos de UPA's (25 puntos) con reportes de mortalidad que en la zona 2 (26 puntos), por lo cual es importante tomar en cuenta los reportes de pesquería, debido que en la zona 1 de pesquería se presentaron mayores episodios de mortalidad. Considerando lo anterior, en la zona 2 se estima como el área de menor riesgo sanitario, además, cuenta con potencial para una mejor distribución de las Unidades de Producción Acuícola en comparación a la zona 1.

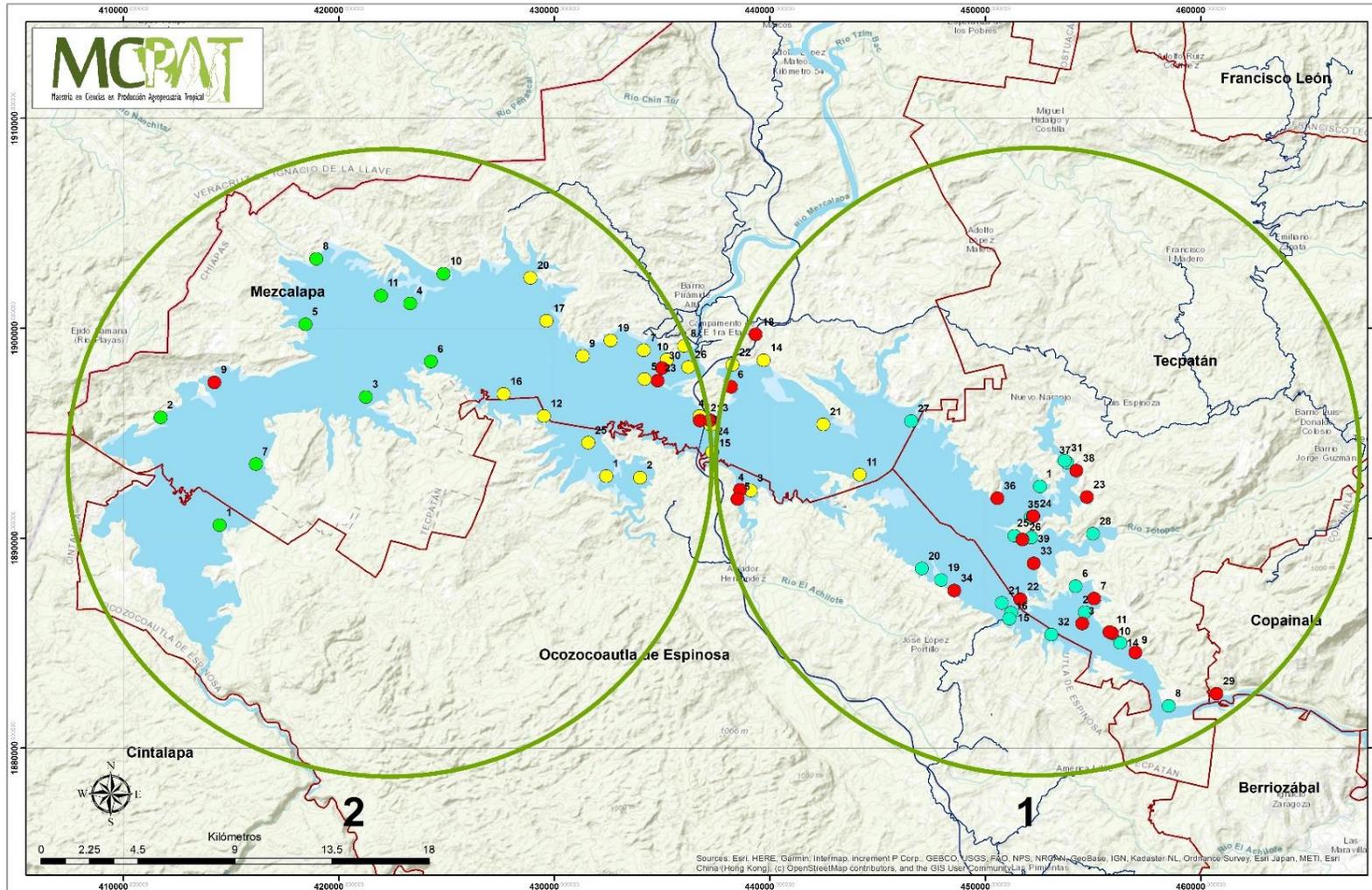


Figura 25. Mapa de la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl dividida en dos zonas generales en 2021. Los puntos según los colores denotan las ubicaciones de las Unidades de Producción Acuícola con problemas de mortalidades: turquesa (zona 1), amarillo (zona 2) y verde (zona 3). Los números en la figura corresponden a las divisiones generales de la presa.

VI. CONCLUSIONES

El principal problema de mortandad que se presentó en la presa hidroeléctrica Nezahualcóyotl durante 2021, fue debido a los patógenos oportunistas bacterianos que representaron el 66% de los episodios de mortalidad.

De acuerdo al mapa generado de las zonas de riesgo sanitario y del análisis bacteriológico por zona dentro de la presa, los principales patógenos relacionados con la mortandad en la zona 1 durante el 2021 fueron *Streptococcus spp.* y *Aeromonas spp.*, mientras en la zona 2 fueron *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.*, estas bacterias son las que más afectan a las tilapias, debido a que se encuentran presentes en el medio como patógenos oportunistas.

Durante el periodo de estudio, en pesquería la mayor incidencia de mortandad se debió a las bacterias de *Pseudomonas spp.* y *Streptococcus spp.* en la zona de la presa hidroeléctrica con mayores unidades de producción y densidad de siembra, lo que puede denotar un impacto de la especie introducida a la especie residente.

Las coinfecciones entre bacterias estuvieron altamente presentes en los organismos que se analizaron, siendo la coinfección entre las bacterias de *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* las más frecuentes en la presa Nezahualcóyotl.

Aeromonas spp., *Pseudomonas spp.* y *Staphylococcus spp.* predominan en el bazo, órgano diana para las infecciones provocadas por estos agentes patógenos, en el caso de *Streptococcus spp.* es el cerebro el órgano diana donde la localizamos. Lo anterior denota la importancia de realizar diagnósticos dirigidos para la identificación de patógenos bacterianos.

El OD no guarda relación directa con los episodios de mortandad dentro de la presa hidroeléctrica, sin embargo, la concentración del OD en las Unidades de Producción Acuícola tiene variación relacionada a las etapas de la actividad acuícola, por lo cual tiene relación con el manejo del productor durante todo el ciclo de producción.

Una parte de la mortandad bacteriana y la no bacteriana que se presentó en la presa hidroeléctrica durante 2021, puede guardar relación con el manejo inadecuado en cuanto a la carga de población en las UPA's, es necesario realizar estudios relacionados con la carga de densidad de siembra.

La temperatura a pesar de no rebasar el rango recomendado para el cultivo de la tilapia, se observó que en los meses con mayores temperaturas se presentaban los mayores episodios de mortalidad y altas prevalencias bacterianas.

Las variables de pH, amonio, nitrito y nitratos no se encontraron asociados directamente con las mortalidades presentadas en la presa durante el 2021, debido a que estos parámetros se detectaron dentro de los rangos óptimos para el cultivo de Tilapia.

Un protocolo establecido y reglado del manejo productivo en cuanto a la densidad de siembra, así como una correcta distribución de Unidades de Producción Acuícola y de jaulas flotantes, son las medidas que se sugieren para el control de mortandad piscícola.

VII. RECOMENDACIONES

El generar una fuente de información actualizada de los agentes patógenos y riesgos sanitarios en el sector acuícola de la región, permitirá que las personas que se encuentren empleándose dentro de este sector puedan conocer la intensidad de los efectos que estos ocasionan en los cultivos y sobre todo conocer las medidas de control que apoyen a mejorar el manejo de la producción, con ello, evitar la mortandad de peces debido a infecciones bacterianas, además, de poder conocer las manifestaciones que se pueden presentar en los cultivos que les permita a ellos actuar y prevenir a través de notificaciones a los especialistas en el área que les brinde las recomendaciones adecuadas para poder controlar o erradicar los problemas.

Es importante que las UPA's cuenten con los equipos necesario para la toma de parámetros fisicoquímicos del agua, esto les permitirá a los productores controlar y prevenir futuras problemáticas. También, es necesario mantener un control de las densidades de siembra que se utiliza por jaula flotante, esto permitirá disminuir los impactos sobre la calidad del agua y reducir el riesgo de propagación de enfermedades por patógenos.

Igualmente, es fundamental mantener un establecimiento y ordenamiento adecuado de jaulas flotantes en áreas con aptitud acuícola, esto nos dará acceso al manejo de una producción de tilapia equilibrada y sustentable, la cual, prolongará el tiempo de vida de la actividad acuícola dentro de la presa hidroeléctrica, cantidad y calidad del producto y que la economía de la región por la actividad acuícola perdure. Con ello, los productores no tendrán que emigrar a otros lugares ni a otras fuentes de ingresos, apoyando de esta forma al desarrollo local con un importante impacto nacional.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abdel , H., Dawood , M., Menanteau , S., & Matbouli , M. (2020). The nature and consequences of co-infections in tilapia: A review. *J. Fish Dis*, 43: 651-664. <https://doi.org/10.1111/jfd.13164>.
- Agricultura, O. d. (2011). *Desarrollo de la Acuicultura* . FAO.
- Agricultura, O. d. (2011). *Enfoque ecosistémico a la acuicultura* . FAO.
- Agricultura, O. d. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. FAO.
- Agudelo, C. (2009). *El agua, recurso estratégico del siglo XXI*. Facultad Nacional de salud pública .
- Ahmed , M., & Manal , I. (2020). Gene expression and histopathological changes of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) infected with *Aeromonas hydrophila* and *Pseudomonas fluorescens*. *Aquaculture* , 526; Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735392>.
- Alegría , R. (2010). *Detección de la presencia del virus de la enfermedad del Páncreas del Salmón (SPDV), en poblaciones de peces silvestres y asilvestrados, Región de los Lagos*. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile .
- Alimentaria, C. d. (2015). *La acuicultura*. Recuperado de: <http://cdrssa.gob.mx/files/b/13/8126La%20acuicultura.pdf>.
- Altamirano , V., & Meza , J. (2020). *Manual de bioseguridad para granjas piscícolas de tilapia (Oreochromis niloticus) en Managua, Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria; facultad de ciencia animal.
- Alvarado, J. (2019). Monitoreo de parásitos helmintos en peces del Embalse Cerrón Grande. *Revista Minerva*, 2(1), 79-94.
- Álvarez , J., Agurto , C., Álvarez , A., & Obregón , J. (2004). Resistencia antimicrobiana en bacterias aisladas de tilapias, agua y sedimento en Venezuela. *Revista científica* , 1-16.

- Anshary , H., Kurniawan, R., Sriwulan , S., Ramli, R., & Baxa, D. (2014). Isolation and molecular identification of the etiological agents of streptococcosis in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in net cages in lake Setani, Papua, Indonesia. *Springer Plus* , 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-627>.
- 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*, 87, 972-979.
- Arámbul , E. (2016). *Estudio de las variaciones ambientales en el cultivo de peces en jaulas flotantes marinas en San Blas, Nayarit*. Universidad Autónoma de Nayarit. Posgrado en Ciencias Biológicas Agropecuarias.
- Assis , G., Tavares , A., Pereira , F., Figueriedo , H., & Leal , C. (2017). *Natural coinfection by Streptococcus agalactiae and Francisella noatunensis subsp. orientalis in farmed Nile tilapia (Oreochromis niloticus L.)*. National Library of Medicine.
- ATT Innova S. de R.L. de C.V. (s.f.). . (2015). *Ordenamiento acuícola en el Estado de Chiapas: Plan de Ordenamiento y Capacidad de carga de la presa Nezahualcóyotl (Malpaso) primera etapa*.
- ATT Innova S. de R.L. de C.V. (2015). *Ordenamiento acuícola en el Estado de Chiapas: Plan de Ordenamiento y Capacidad de carga de la presa Nezahualcóyotl (Malpaso) primera etapa*. CONAPESCA.
- Atyah , M., Zamri, M., & Siti, A. (2010). First report of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from cage-cultured tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Microbiology* , 144; 502-504.
- Azzam , S., Ina , M., Zamri, M., Annas , S., Yusof , M., Monir, M., . . . Muhamad , M. (2021). Comparative Pathogenicity of *Aeromonas* spp. in Cultured Red Hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). *Biology*, 10,1192. 1-14 <https://doi.org/10.3390/ biology10111192>.

- Baque, R., Simba , L., González, B., Suatunce, P., Díaz , E., & Cadme , L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia Unemi* , 109-117.
- Basri , L., Roslindawani , M., Salleh , A., Salwany , I., Zamri , R., Rahaman , N., . . . Azmai , M. (2020). Co-Infections of Tilapia Lake Virus, *Aeromonas hydrophila* and *Streptococcus agalactiae* in Farmed Red Hybrid Tilapia. *Animals*, 10; 1-12.
- Bautista, J., & Ruíz, J. (2011). *Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana*. Fuente.
- Beltrán , M. (2017). Innovación en el sector acuícola. *Universidad Autónoma Indígena de México.*, 13 (3), 351-364.
- Bentazo , E., Marín , J., Piñar, M., Celdrán , D., & Mata , A. (2019). Análisis de la aplicación de la tecnología biofloc en la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en regiones rurales de México . *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable.*, 4(1), 42-58.
- Briones , E., Hernández, E., Leal, A., & Calvario , C. (2017). La calidad del agua en diferentes unidades de producción acuícola de Tlaxcala, México. *Iberoamericana de ciencias* , 40-42.
- Briones , E., Hernández, E., Leal, A., & Calvario , C. (2017). La calidad del agua en diferentes unidades de producción acuícola de Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* , 41-48.
- Buschmann, A. (2001). *Impacto ambiental de la acuicultura* . Departamento de acuicultura .
- Campos-Mendoza , A. (2018). El cultivo intensivo de tilapia en jaulas flotantes: una estrategia de seguridad alimentaria en México . *Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 271-273.

- Carnevia , D., Letamendia , M., Perretta , A., & Delgado , E. (2010). Caracterización de septicemia hemorrágica bacteriana (SHB), diagnosticadas en peces ornamentales de Uruguay. *Sociedad de Medicina Veterinaria de Uruguay (Montevideo)*, 46; 27-32.
- Castro, A. (2020). *Identificación y caracterización de patógenos bacterianos aislados de tilapias del Nilo (Oreochromis niloticus) cultivadas en la presa del El Gallo, Guerrero, México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (2018). *Sanidad en producción acuícola, garantía de la seguridad alimentaria*. CONAPESCA.
- Comision Nacional de Acuacultura y Pesca. (09 de abril de 2021). *Secretaría de Agricultura*. Recuperado el 15 de abril de 2021, de <https://www.gob.mx/agricultura/yucatan/articulos/la-conapesca-promueve-la-produccion-y-consumo-de-tilapia-en-el-pais?idiom=es>
- Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura . (2018). *Produce acuacultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos*. México : <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuacultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466#:>.
- Conroy, G. (2007). *Importantes Enfermedades Infecciosas y Parasitarias de Tilapias Cultivadas*. Obtenido de https://www.ciabcr.com/charlas/jornadaacuicola/8_Enfermedades_en_Tilapias_Cultivadas_en_las_Americas.pdf
- Conroy, G., & Conroy , D. (2008). *Importantes Enfermedades Infecciosas y parasitarias de tilapias cultivadas* . Intervet .
- Contreras , C., Molina , J., Osma , P., & Zambrano , D. (2018). *Construcción de un Sistema de Adquisición y Transmisión Remota de la Calidad del Agua Basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la acuicultura*. Innovation in education and Inclusion.

- Crespo, J., & Jiménez, A. (2021). Hacia el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura en México: marcos normativos, organización socioeconómica y desafíos . *Cuadernos geográficos* , 60(3), 6-28.
- Dávalos , J., & Vilela , L. (2019). Estimación del oxígeno disuelto en la planta piloto de recirculación de agua para acuicultura de la PUCP. *Revista ECI Perú* , 1(5), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2008.0002/>.
- De los Santos , A. (2014). *Sustentabilidad y pesca responsable, un estudio de caso: Pesquería la Gloria, municipio de Arriaga, Chiapas.* . Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tesis doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable.
- Dong, H., Techatanakitarnan, C., Jindakittikul, P., Thaiprayoon, A., Taengphu, S., Charoensapsri, W., . . . Senapin, S. (2017). *Aeromonas jandaei* and *Aeromonas veronii* caused disease and mortality in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Fish Diseases* , 40(10), 1395-1403.
- Dos Santos, F., Moreira , A., Bisinoti, M., Nobre, S., & Santos , M. (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Elsevier* , 476-484.
- Dverdal , M., Thanh, H., & Vishnumurthy , C. (2019). Tilapia lake virus: a threat to the global tilapia industry? *Reviews in Aquaculture*, (11) 725-739.
- Fajer , E., Medina , R., & Morales , F. (2017). Estrategias para la prevención y control de las enfermedades parasitarias de la tilapia. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 3 (2), 25-31.
- FAO. (2011). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. Obtenido de Manual Básico de Sanidad Piscícola: <https://www.fao.org/3/as830s/as830s.pdf>
- Figueredo , A., Fuentes , J., Cabrera , T., León , J., Patti , J., Silva , J., . . . Mar . (2020). Bioseguridad en el cultivo de camarones *Penaeidos*: una revisión. *AquaTechnica*, 2(1), 1-22.

- Flores , B., González , N., Bravo , A., Mora , B., Torres , D., Jirón , W., & Balcázar, J. (2021). Identificación de bacterias patógenas en peces capturados en el Pacífico frente a Nicaragua. *Ciencias Marinas*, 47 (3), 175–184. <https://doi.org/10.7773/cm.v47i3.3212>.
- Font, E. (2021). *Regulación de antibióticos en la acuicultura. Casos de Unión Europea, Noruega y Estados Unidos de Norte*. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32237/2/BCN_Regulacion_antibioticos_en_acui.
- Fortt, A., Cabello, F., & Buschmann , A. (2007). Residuos de tetraciclina y quinolonas en peces silvestres en una zona costera donde se desarrolla la acuicultura del Salmón en Chile. *Revista Chilena de Infectología* , 24(1); 14-18.
- García , J., Ulloa , J., & Mendoza , S. (2021). Patógenos bacterianos y su resistencia a los antimicrobianos en los cultivos de tilapia en Guatemala. *Uniciencia*, 35 (2).
- García , J., Ulloa , J., & Mendoza , S. (2021). Patógenos bacterianos y su resistencia a los antimicrobianos en los cultivos de tilapia en Guatemala. *Uniciencia*, 35(2). 1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/ru.35-2.4>.
- Gómez , F., Ortega , N., Trejo , L., Sánchez , R., Salazar , J., & Salazar , E. (2015). La acuaponía: alternativa sustentable y potencial para la producción de alimentos en México. *Agroproductividad*, 60-65.
- González , A. (2021). *Sistema de Tele-medicación de calidad del agua salada para acuicultura*. Universidad de Cádiz.
- González , E. (2017). *Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimento en el lago Guamuez, Nariño*. Universidad Nacional de Colombia.
- Gualdrón, L. (2016). *Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos*. Dinámica ambiental .

- Gutiérrez, N. 2. (2018). *CALIDAD DEL AGUA EN LA ACUACULTURA*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural Jalisco: <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-acuicola-y-pesquero-e-inocuidad/519>
- Gutiérrez, N. (2018). *Calidad del agua en la acuacultura* . Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural de Jalisco .
- Handayani , E., Agung, R., Saptiani , G., Sarinah , R., Agriandini , M., & Mawardi , M. (2018). *Identification of potentially pathogenic bacteria from tilapia (Oreochromis niloticus) and channel catfish (Clarias batrachus) culture in Samarinda, East Kalimantan, Indonesia* . Biodiversitas : 19(2), 480-488.
- Handayani , E., Agung, R., Saptiani , R., Sarinah , R., Agriandini , M., & Mawardi, M. (2018). Identification of potentially pathogenic bacteria from tilapia (Oreochromis niloticus) and channel catfish (Clarias batrachus) culture in Samarinda, East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas* , 2(19); 480-488.
- Handayani, E. (2017). *Utilization of several herbal plant extracts on Nile tilapia in preventing Aeromonas hydrophila and Pseudomonas sp. bacterial infection*. Universitas Mulawarman Repository.
- Huicab, Z., Landero , C., Castañeda, M., Lango, F., López, C., & Platas, D. (2016). Current State of Bacteria Pathogenicity and their Relationship with Host and. *Journal of Aquaculture*, 1-10.
- Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). (2011). *Determinación de la presencia de enfermedades de alto riesgo en poblaciones de peces silvestres, Informe final*. División de Investigación de Acuicultura .
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI). (2019). *Requerimientos del Cultivo de Tilapia: Calidad del Agua*. INTAGRI.
- Ismail, I., Aliya , I., Azmai , A., Shohaimi , S., Zamri, M., & Zahrah , S. (2016). Associations of water quality and bacteria presence in cage cultured red hybrid tilapia, Oreochromis niloticus x O. mosaambicus. *Aquaculture reports* , 4, 57-65.

- Jácome , J., Quezada , A., Sánchez , O., Pérez , J., & Nirchio , N. (2019). Tilapia en Ecuador: paradoja entre la producción acuícola y la protección de la biodiversidad ecuatoriana. *Revista Peruana de Biología*, 26(4).
- Jiménez , A., Rey, A., Penagos , L., Ariza , M., Figueroa , J., & Iregui , C. (2007). Streptococcus agalactiae: hasta ahora el único Streptococcus patógeno de tilapias cultivadas en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia* , 2(54); 285-294.
- Jiménez , A., Rey, A., Penagos, L., Ariza , M., Figueroa , J., & Iregui , C. (2007). Streptococcus agalactiae: hasta ahora el único Streptococcus Patógeno de tilapias cultivadas en Colombia. . *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Colombia* , 54,2; 285-294.
- Leal , O. (2017). *Rango de pH óptimo para el desarrollo de tomate (Solanum lycopersicum L.) y tilapia (Oreochromis niloticus) en acuaponía*. Colegio de Postgraduados; Institución de Enseñanzas e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Liu , G., Zhu , J., Chen , K., Gao , T., Liu , Y., Yao, H., . . . Lu, C. (2016). Development of Streptococcus agalactiae vaccines for tilapia. *Diseases of Aquatic Organisms*, (122), 163-170.
- Marcel, G., Sabri, M., Siti, A., & Emikpe, B. (2013). Water condition and identification of potential pathogenic bacteria from red tilapia reared in caged cultured system in two different water bodies in Malaysia. *African Journal of Microbiology Research* , 7(47); 5330-5337. DOI: 10.5897/AJMR12.1468.
- Mariscal, A. (2013). *Chiapas: mucha agua y escasa disponibilidad*. . Paralelo.
- Martínez , S. (2017). *Las aguas turbias de Chiapas*. NEXOS.
- Masiuán , Y., Betanzos , A., Rodríguez , A., Montes , Y., & García , S. (2017). Zonas con potencial para cultivo de peces en jaulas flotantes, Golfo de Ana María, Cuba. *Revista Cubana de Investigación Pesquera*, 34(1); 7-12.

- Medina , G. (2010). Ecología de enfermedades infecciosas emergentes y conservación de especies silvestres. *Arch Med Vet, Chile* , 42; 11-24.
- Menchaca , S., Ornelas , O., & Hernández , H. (2019). Contaminación antrópica por organismos microbiológicos en la microcuenca del río Pixquiác. *Revista Electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana*.
- México, U. A. (2014). *Calidad del agua* . Red del agua.
- México, U. A. (2014). *Calidad del agua* . Red del agua .
- Montaser , M., El-sharnouby, M., Noubi , G., Shaer , H., Khalil, A., Hassanin, M., . . . Ara. (2021). Boswellia serrata Resin Extract in Diets of Nile Tilapia, Oreochromis niloticus: Effects on the Growth, Health, Immune Response, and Disease Resistance to Staphylococcus aureus. *Sustainable Aquaculture: Nutrition Studies in Early Developing Finfish, Ornamentals and Experimental Model Fish*, 11(22), 426.
- Morales , E., Reyes , J., Quiñones , L., & Milla , M. (2019). Efecto del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en la depuración del. *Ciencia y Tecnología* , 19-25.
- Morales , G., Blanco , L., Arias , M., & Chaves , C. (2004). Evaluación de la calidad bacteriológica de tilapia fresca (Oreochromis niloticus) proveniente de la Zona Norte de Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(4), 433-437.
- Morales, E., Reyes , J., Quiñones , L., & Milla , M. (2019). Efecto del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en la depuración del agua residual del colector Santa Lucía- Chachapoyas. *Ciencia y Tecnología*, 19-25.
- Morata, T. (2013). *Procesos de intercambio de materiales en la interfase agua-sedimento en piscifactorías marinas en jaulas flotantes*. Universidad de la Rioja, España.

- Moreno , A. (2021). *Evaluación de la calidad de agua en cultivos de tilapia alimentados con dietas diferentes de harina hidropónica*. Universidad de Guayaquil, Ecuador .
- Naranjo, R., Gutiérrez, L., & David, C. (2015). El uso de los probióticos en la industria acuícola. *Revista de la Asociación Colombiana de ciencia y Tecnología de Alimentos. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* , 23(36), 165-178.
- Ndong, D., Chen, Y., Lin, Y., Vaseeharan, B., & Chen , J. (2007). The immune response of tilapia *Oreochromis mossambicus* and its susceptibility to *Streptococcus iniae* under stress in low and high temperatures. *Fish Shellfish Immunol* , 22; 68-69.
- Nesrine, B., Alberghini, G., Giaccone, V., Truant, A., & Catellani , P. (2023). Prevalence and Antibiotic Resistance Phenotypes of *Pseudomonas* spp. in Fresh Fish Fillets. *Foods*, 12, 950. <https://doi.org/10.3390/foods12050950>.
- Nguyen, H., Kanai, K., & Yoshikoshi, K. (2002). Investigación ecológica de *S. iniae* aislada en platija japonesa cultivada, *Paralichthys olivaceus* mediante un procedimiento de aislamiento selectivo. *Acuicultura*, 205: 7-17.
- Novacovsky, G., Rubilar , P., & Sueiro , M. (2021). Primer registro de epiteliocistis en dos especies de peces de arrecifes rocosos en Golfo Nuevo (Chubut, Patagonia Argentina). *Universidad Nacional de la PAtagonia San Juan Bosco, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud* , 16; 87-102.
- Nurul, A., Mohammad, A., Shamarina , S., Mohd, Z., & Siti, A. (2016). Associations of water quality and bacteria presence in cage cultured red hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*. *Elsevier*, 57-65.
- Organismos de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria para el Producto (OSIAP). (2020). *Sanidad Acuícola*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimen. (2011). *Desarrollo de la acuicultura* . FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimen. (2016). *Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimen. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura* . FAO .
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, I. C. (2019). *Abordar la escasez y la calidad del agua* . UNESCO.
- Ornelas , R., Aguilar , B., Hernández , A., Hinojosa , J., & Godínez , D. (2017). Un enfoque Sustentable al cultivo de tilapia. *Multidisciplinary Scientific Journal* , 5 (27). 19-25.
- Ortega , Y., Barreiro , F., Castro , G., Huancaré , K., Manchego , A., Belo, M., . . . Sandoval, N. (2017). Estreptococos beta-hemolítico en tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas en Sullana, Piura – Perú. *Revista MVZ, Córdoba* , 22(1).
- Osman , K., Mohamed , L., Abdel, E., & Soliman , W. (2009). Trials for Vaccination of Tilapia Fish Against *Aeromonas* and *Pseudomonas*. *World Journal of Fish Marine Sciences* , 1 (4); 297-304.
- Ovando, S. (2013). *La Acuicultura y sus efectos en el medio ambiente*. Obtenido de <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/download/22/1104/116#:~:text=Desde%20este%20punto%20de%20vista,naturales%20que%20vi ven%20en%20esa>.
- Ovando, S. M. (2013). *La Acuicultura y sus efectos en el medio ambiente*. Obtenido de <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/download/22/1104/116#:~:text=Desde%20este%20punto%20de%20vista,naturales%20que%20vi ven%20en%20esa>

- Oviedo , H. (2020). Detección de *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva en tilapias comercializadas en dos mercados de abastos de milagro-ecuador. *Universidad Agraria de Ecuador* , 20.
- Panorama Acuícola. (2022). *Principales enfermedades infecciosas en granjas de tilapia en Latinoamérica*. Panorama Acuícola Magazine.
- Paredes , A., & Mendoza , M. (2022). Sobre el cultivo de tilapia: relación entre enfermedades y calidad del agua. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 4(7); 34-49.
- Paz , P., Martínez , A., & Chávez , J. (2019). Producción de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) en la etapa de engorde con dos estrategias de alimentación. *A Scientific and Technical Journal Published by Zamorano (CEIBA)*, 1-6.
- Paz, P. (2016). *Reproducción de la tilapia*. Zamora.
- Pérez, J., Pérez, C., Hernández , M., Amaro, I., & Huicab, Z. (2016). *Comparison and interaction genotype-environment of the productive performance in three genetic lines of tilapia Oreochromis sp.* Tropical and subtropical Agroecosystems.
- Pernía , B., Mero , M., & Zambrano , J. (2019). *Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador*.
- Perretta , A. (2016). *Caracterización de bacterias Aeromonadales móviles aisladas de peces cultivado en Uruguay*. Uruguay: Universidad de la República de Uruguay. Facultad de veterinaria .
- Perretta , A., Antúnez , K., & Zunino , P. (2019). Resistencia a los antimicrobianos en bacterias aeromonadales móviles aisladas de peces cultivados en Uruguay. *Veterinaria Montevideo*, 55(211).
- Pesca, C. N. (2007). *Programa maestro nacional de Tilapia* . CONAPESCA.
- Pesca, C. N. (2018). *Chiapas aporta el 3.3% de la producción pesquera nacional* . Panorama Acuícola .

- Pesca, I. N. (2018). *Acuicultura*. INAPESCA .
- Pesca, I. N. (2018). *Acuicultura* . INAPESCA .
- Pinzón, M. (2022). *Mortalidad de tilapia en cultivo en Colombia causas y mejores prácticas*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/44156>.
- Platas , D., & Arroniz, J. (2014). La Acuicultura Mexicana: Potencialidad, Retos y Áreas de Oportunidad. *Revista mexicana de agronegocios* , Vol. 35.
- Plazas, L., & Paz, N. (2019). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento de Cauca. *Publicaciones de investigaciones Bogotá* , 13(2); 11-20.
- Pulido , B. (2017). *Principales patologías de origen infeccioso de las especies piscícolas*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Wcm4zfTuqMUJ:https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1586/1923+&cd=2&hl=es->.
- Pulido , E. (2019). Principales causas de mortalidad en cultivos intensivos y superintensivos de tilapia en Colombia. *Revista Electrónica de Ingeniería de Producción Acuícola* , 1-8.
- Pulido, B. E. (s.f.). *Principales patologías de origen infeccioso de las especies piscícolas*. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Wcm4zfTuqMUJ:https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1586/1923+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx>
- Puneeth , T., Pallavi , B., Vilasini , U., Kushala , K., Nithin , M., Girisha , S., & Suresh , T. (2022). Large scale mortality in cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): natural coinfection with *Aeromonas hydrophila* and *Streptococcus iniae*. *Iranian Journal of Veterinary Research, Shiraz University*, 23(3); 219-228.

- Rabassó, M. (2006). *Los impactos ambientales de la acuicultura* . Artículos .
- Ramírez , F., Castillo , K., Álvarez , C., Uscanga , A., & Márquez , G. (2020). Enfermedades más comunes en el cultivo de tilapia. *Agroregión*, 10.
- Ramírez , J. (2015). Elaboración de un plan de negocios para el procesamiento y empacado de fileta de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) en la delegación de la Secretaría de Pesca y Acuicultura en la Concordia, Chiapas. *Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez*.
- Rangel , J. (2009). *Análisis temporal de las características fisicoquímicas, biológicas y de calidad del agua en la zona léntica de la Presa de Aguamilpa (Nayarit, México)* (. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y diseño del estado de Jalisco, A.C.
- Rivas , K., Barbera , A., Carpio, M., Villarroel , E., Vásquez , E., & Graziani , C. (2009). Caracterización de la Calidad del Agua en Áreas Potenciales para Acuicultura. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 2-6.
- Rodríguez , P., & Arenas , P. (2018). Hans Christian Gram y su tinción. . *Hospital General Manuel Gea González* , 16(2).
- Román , L., Padilla , D., Acosta , E., Bravo, J., Sorrozam , L., & Real , F. (2009). estudio epidemiológico de las poblaciones salvajes de peces como posibles transmisores de enfermedades víricas a las jaulas de las empresas del sector acuícola del Archipiélago Canario. *Accedacris* , 95-106.
- Romano , L., & Mejía , J. (2016). Infección por *Streptococcus iniae*: una enfermedad emergente que afecta a peces de cultivos y a humanos. *AquaTic*, 18, 25-32.
- Romero-Beltrán, M., Rendón-Martínez , J., Gaspar-Dillanes, T., Torres-Rodríguez , L., Osuna-Bernal, D., Romero-Correa, A., . . . Mora-Cervantes, I. (2021). *Capacidad de carga de la presa Belisario Domínguez (La Angostura)*. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA).

- Rubio , H., Ortiz , R., Quintana , R., Saucedo , R., Ochoa , J., & Rey , N. (2014). Índice de Calidad de Agua (ICA) en la Presa la Boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 139-150.
- Rural, S. d. (2007). *Evaluación acuacultura y pesca 2006*. SAGARPA.
- Rural., S. d. (2007). *Evaluación acuacultura y pesca 2006*. Gobierno del estado.
- Saavedra , M. (2006). *Manejo de cultivo de tilapia*. USAID.
- Salvador , R., Eckehardt, E., De Freitas , J., Leonhardt, J., García , L., & Alves , J. (2005). Isolation and characterization of Streptococcus spp. Group B. in Nile tilapias (*Oreochromis niloticus*) reared in hapas nets and earth nurseries in the northern region of Paraná State, Brazil. *Ciencia Rural* , 35(6); 1374-1378.
- Sánchez, J., Valles, M., & González, P. (2021). Políticas promovedoras de la tecnificación y su efecto en la producción acuícola. *Acuicultura y Pesca*, 22 (3).
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *La acuicultura o acuacultura es el conjunto de actividades técnicas y conocimientos de crianza de especies acuáticas vegetales y animales*. SADER.
- Secretaría de Agricultura, G. D. (2015). *Ordenamiento acuícola en la presa Nezahualcoyotl (presa Malpaso) en el estado de Chiapas*. SAGARPA.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Agua* . SEMARNAT .
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera . (2022). *Estadística de producción Acuícola*. SIAP.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). *Manual De Buenas Prácticas Acuícolas Durante La Producción Primaria De Peces*. Obtenido de <https://www.gob.mx/senasica/documentos/manuales-de-buenas-practicas-pecuarias-acuicolas-y-pesqueras>.
- Sierra , C., & Jenaro , J. (2019). *Estrategias de manejo para mejorar la producción piscícola en un sistema de jaulas flotantes con Tilapia roja Oreochromis sp*,

en Montería, Córdoba. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/462>.

Sierralta , V., Mayta , E., & León , J. (2016). Primer registro de Plesiomonas Shigelloides como patógeno oportunista de tilapia Oreochromis niloticus en un Piscigranja de Lima, Perú. *Rev Inv Vet*, 27(3). 565-572. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v27i3.11996>.

Silva , A. (2017). *Importancia de los alimentos en la nutrición de la tilapia*.

Sosa, C., Castañeda, M., Amaro , I., Galaviz , I., & Lango , F. (2016). Diagnóstico del estado actual de los sistemas de producción acuícola en relación con el medio ambiente en México. *Revista Latinoamericana de Investigación Acuática* , 44(2).

Soto , S. (2010). *Calidad del agua y bacterias presentes en tilapia cultivada*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación .

Tecnología, C. N. (2018). *La crisis del agua en México provoca que 12 millones de personas no tengan acceso a agua potable*. CONACYT.

Toledo , F., Usganda , A., Rivera , G., Ramos , Z., Solís , L., & Cruz , D. (2012). Rentabilidad del cultivo de Tilapia Oreochromis niloticus L., (Piscis, Cichlidae), en Chiapas, México. *Lacandonia*, 6(2), 67-77.

Tomaz , V., Dos Santos , F., Holanda, D., & Do Carmo , M. (2016). Reassessment of the suitable range of water pH for culture of Nile tilapia Oreochromis niloticus L. in eutrophic water. *Aquicultura* , 38(4). 361-368.

Unidas, O. d. (2014). *Calidad del agua* . ONU.

Unidas, O. d. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016*. FAO.

Urbano, C. (2019). *Impacto ambiental de Acuicultura en Jaulas en los Componentes Agua y Sedimentos en el Embalse del Guajaro* . Universidad de Manizales .

- Valenzuela , R. (2018). *Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado de la producción de Tilapia Roja*. Universidad Surcolombiana. Neiva.
- Valenzuela , R., Martínez , P., & Arévalo , J. (2017). Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Universidad Surcolombiana*, 1(17).
- Vargas, A. (2017). *Uso de un Sistema de Recirculación Acuapónico para Conservar la Calidad del Agua en los Estanques de Producción de Tilapia (*Oreochromis nicoticus*) de la empresa Lima Vías Express, Chorrillos-Lima*. Universidad César Vallejo.
- Vasquez , M. (2019). *Evaluación del comportamiento de mortalidad post vacunación en tilapia (*Oreochromis niloticus*) con relación al tamaño de siembra y calibre de aguja utilizado*. Honduras : Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Vásquez , W., Talavera , M., & Inga , M. (2016). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa – Puno. *Revista de la Sociedad Química de Perú*, 81(1); 15-28.
- Velázquez, E., Rivera, G., & Domínguez, S. (2013). *Estado actual de la pesca y la acuicultura en Chiapas*. La biodiversidad en Chiapas .
- Wamala , S., Mugimba , K., Mutoloki, S., Evensen, O., Mdegela , R., Byarugaba , D., & Sorum, H. (2018). Occurrence and antibiotic susceptibility of fish bacteria isolated from *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia) and *Clarias gariepinus* (African catfish) in Uganda. *Fish Aquatic Sci* 21, <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0080-x>.
- Wicki, G., & Gromenida, N. (2016). *Estudio de Desarrollo y Producción de Tilapia (*Oreochromis niloticus*)*. Secretaría de Agricultura , Pesca y Alimentación de Argentina.

Wurts, W., & Durborow, R. (1992). *Interacciones de pH, dióxido de carbono, alcalinidad y dureza en estanques de peces* . Centro de acuicultura regional sur .

Zapata, A. (2020). *Alevinaje de Oreochromis niloticus, (Linneus, 1758) "tilapia Nilotica) con densidades de siembre de 100 y 200 alevines/m³ en jaulas, Viñas de Curumuy-Piura"*. Universidad Nacional de Piura, Perú.

Zatán, A. (2020). *Identificación molecular, caracterización proteómica y evaluación experimental de la patogenicidad de una cepa Lactococcus garvieae aislada de tilapia nilótica Oreochromis niloticus en un evento natural de mortalidad en la Amazonía peruana*. Perú: Universidad Nacional de Tumbes .

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

Agente infeccioso: Son todas aquellas entidades biológicas capaces de producir una enfermedad infecciosa en un huésped (humano, animal, vegetal, etc.) sensiblemente predispuesto.

C

Coinfecciones: Es la infección simultánea de un huésped por parte de múltiples agentes patógenos.

E

Enfermedad infecciosa: Son trastornos causados por organismos, como bacterias, virus, hongos o parásitos.

F

Frecuencia bacteriana: Número de veces que se repite un proceso periódico.

M

Mortalidad de peces o piscícola: Tasa de muerte producida en una población de peces durante un tiempo dado.

Mortandad de peces: Evento que se repite de muertes repentinas de un número importante de peces.

P

Patógenos oportunistas: Son microorganismos que forman parte de la flora microbiana habitual del huésped o del ambiente que lo rodea y por alteración de su ambiente, del sistema inmune de su huésped o de los organismos con los que convive, causando daño a la salud de los organismos.