

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INFORME TÉCNICO

DESARROLLO DE UN CRIADERO ARTESANAL PARA EL
CULTIVO DE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) EN
EL PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

DANIELA GUADALUPE ÁLVAREZ GÓMEZ

DIRECTOR

C. DR. ULISES GONZÁLEZ VÁZQUEZ

ASESORES

DR. RUBÉN ALEJANDRO VÁZQUEZ SÁNCHEZ

DR. JOSÉ MANUEL GÓMEZ RAMOS





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA GENERAL

DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES

DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 8 de septiembre de 2025

C. DANIELA GUADALUPE ÁLVAREZ GÓMEZ

Pasante del Programa Educativo de: INGENIERÍA AMBIENTAL

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

DESARROLLO DE UN CRIADERO ARTESANAL PARA EL CULTIVO DE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) EN EL PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

En la modalidad de: INFORME TÉCNICO

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Mtro. Ulises González Vázquez

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Ccp. Expediente



Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y la salud para culminar este proyecto, que representa una etapa muy importante en mi vida.

A mi familia, por ser la base de lo que soy. A mis padres, por su amor infinito, sus sacrificios y por enseñarme con su ejemplo del valor del trabajo y la constancia.

A mis maestros por su guía y por trasmitirme sus conocimientos para trazar mi propio camino.

A mi director y revisores, la finalización de esta etapa no hubiera sido sin el apoyo incondicional de mi director el Dr. Ulises González Vázquez por la confianza de mi capacidad para la realización de este trabajo. Agradezco también al Dr. Rubén Vázquez Sánchez y al Dr. José Manuel Gómez Ramos, quienes me guiaron y apoyaron para culminar este trabajo.

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo y por ser mi mayor motivación en cada momento de este camino.

Mi hermana, por ser mi ejemplo y compañera de vida, de experiencias infinitas que quedan marcadas en mi vida y por siempre motivarme a ser mejor persona.

Diego mejor amigo, por acompañarme en cada paso de este camino, brindándome paciencia, comprensión y motivación para no rendirme.

Mi mejor amigo Kahlua, mi fiel compañero quien con su amor incondicional y compañía hizo de esta experiencia más cálida y llevadera. En cada madrugada de estudio, cansancio y en alegría estuviste a mi lado, te amo incondicionalmente.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	9
1.2.	Planteamiento del problema	11
1.3.	Justificación.....	13
II.	OBJETIVOS	15
2.1.	General.....	15
2.1.1.	Específicos.....	15
2.2.	Antecedentes	16
III.	MARCO TEÓRICO	18
3.1.	<i>Importancia de la acuicultura</i>	18
3.2.	Biología	19
3.2.1.	<i>Biometría</i>	19
3.2.2.	<i>Caracteres sexuales</i>	20
3.2.3.	<i>Reproducción</i>	20
3.3.	Sistemas de cultivo.....	21
3.3.1	<i>Sistema intensivo</i>	21
3.4.	Calidad del agua	22
3.4.1.	<i>Parámetros más importantes</i>	23
3.4.2.	<i>Sanidad</i>	23
3.5.	Alimentación	24
3.6.	Cosecha	24
3.7.	Impacto ambiental.....	24
3.8.	Marco legal y normativo	26
IV.	MARCO METODOLÓGICO.....	28
4.1.	Área de estudio.....	30
4.2.	Diseño de estudio	31
4.2.1.	<i>Nivel del agua</i>	32
4.3.	Preparación del estanque para la siembra	34
4.4.	Monitoreo <i>in situ</i>	36
4.5.	Alimentación	37
4.6.	Recambios de agua.....	37

4.6.1. Baño de inmersión en sal	38
4.7. Cosecha	39
4.8. Registro de datos	40
5. RESULTADOS.....	41
6. CONCLUSIONES	47
7. RECOMENDACIONES	49
8. REFERENCIAS	50
9. ANEXOS.....	53
9.1. PLAN DE MANEJO	53
9.1.1. INTRODUCCIÓN.....	53
9.1.2. JUSTIFICACIÓN.....	54
9.1.3. MARCO TEÓRICO	54
9.1.4. ALIMENTACIÓN	54
9.1.5. CRECIMIENTO	55
9.1.6. MONITOREO	57
9.1.7. RANGO PARAMETROS.....	58
9.1.8. HISTOGRAMA (LLUVIA-ESTIAJE)	64
9.1.9. COSTOS.....	69
9.2. Anexo fotográfico	70

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. <i>ÁREA DE ESTUDIO</i>	30
FIGURA 2. <i>VISITA DE CAMPO AL SITIO</i>	31
FIGURA 3. <i>LIMPIEZA DEL ÁREA</i>	32
FIGURA 4. <i>OXIGENACIÓN MÉTODO VENTURI</i>	33
FIGURA 5. <i>DESCONTAMINACIÓN DEL AGUA</i>	34
FIGURA 6. <i>ACLIMATACIÓN Y SIEMBRA</i>	35
FIGURA 7. <i>MONITOREO IN SITU</i>	36
FIGURA 8. <i>ALIMENTACIÓN</i>	37
FIGURA 9. <i>RECAMBIO DE AGUA</i>	37
FIGURA 10. <i>BAÑO DE INMERSIÓN EN SAL</i>	38
FIGURA 11. <i>REGISTRO DE TALLA Y PESO</i>	38
FIGURA 12. <i>TILAPIAS DURANTE LA COSECHA</i>	39
FIGURA 13. <i>TILAPIA</i>	39
FIGURA 14. <i>CRECIMIENTO EN EL MES DE MAYO</i>	40
FIGURA 15. <i>BITÁCORA DEL REGISTRO DE DATOS</i>	40
FIGURA 16. <i>DISEÑO DEL ESTANQUE</i>	41
FIGURA 17. <i>GRÁFICA DE TALLA, PESO Y MORTALIDAD</i>	42
FIGURA 18. <i>GRÁFICA DEL REGISTRO DE PARÁMETROS AMBIENTALES A LO LARGO DEL CICLO DE CULTIVO</i>	44
FIGURA 19. <i>VALORES DE SÓLIDOS DISUELTOS Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA REGISTRADOS DURANTE EL CULTIVO</i>	45
FIGURA 20 . <i>GRÁFICA DE TEMPERATURA MÁXIMA: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL</i>	66
FIGURA 21. <i>GRÁFICA DE TEMPERATURA MEDIA: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL</i>	67
FIGURA 22. <i>GRÁFICA DE TEMPERATURA MÍNIMA: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL</i>	68
FIGURA 23. <i>GRÁFICA DE PRECIPITACIÓN: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL</i>	68
FIGURA 24. <i>ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO</i>	70
FIGURA 25. <i>COLOCACIÓN DE LA MALLA SOMBRA</i>	70
FIGURA 26. <i>ESTANQUE ACONDICIONADO PARA LA SIEMBRA</i>	70
FIGURA 27. <i>TALLA PROMEDIO EN EL MES DE ABRIL</i>	71
FIGURA 28. <i>MATERIALES PARA BAÑO DE INMERSIÓN EN SAL</i>	71
FIGURA 29. <i>REGISTRO DE TALLA Y PESO DURANTE LA COSECHA</i>	71

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. INDICADORES	22
TABLA 2. RESULTADOS DEL MONITOREO <i>IN SITU</i>	36
TABLA 3. RESULTADOS PROMEDIO DEL MONITOREO <i>IN SITU</i>	43
TABLA 4. COSTOS	46
TABLA 5. BIOLOGÍA DE LA ESPECIE.....	58
TABLA 6. EFECTOS DEL NIVEL DE OXÍGENO DISUELTO	59
TABLA 7. ANÁLISIS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS ANUALES Y MENSUALES. (1951-2010)	65

I. INTRODUCCIÓN

La producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) fue introducida a México en 1964, por ser uno de los cultivos acuícolas más rentables por su alta productividad. La tilapia es cultivada en 31 de sus estados siendo los mayores productores: Chiapas, Tabasco, Guerrero, Estado de México y Veracruz.

Solís et al. (2012) menciona que: En Chiapas el embalse de mayor producción de tilapia es la presa La Angostura, con una producción de 819.59 toneladas en 2011, donde se ha generado beneficios sociales y económicos. La Secretaría de Pesca y Acuicultura es una institución oficial del gobierno del estado de Chiapas, que provee el financiamiento y asesoría a las comunidades rurales para establecer el cultivo de la tilapia (*O. niloticus*), este sistema está dirigido a grupos que se encuentran realizando actividades como agricultura y ganadería.

La acuicultura se ha posicionado como una alternativa para cerrar la brecha entre la oferta y la demanda de productos del mar, incrementando así la seguridad alimentaria para muchos países (Celaya *et al.*, 2018).

La tilapia gris al igual que otros tipos de especies son caracterizadas por la fácil adaptación en cautiverio, a condiciones físicas y químicas muy adversas, concentraciones bajas de oxígeno disuelto en el agua, y lo más importante, tiene un alto grado de tolerancia a muchas enfermedades (Saavedra, 2006).

Conocer los parámetros de calidad de agua en estanques de peces en tiempo real, permite al productor actuar ante cualquier variación por fuera del rango normal a modo que la tasa de mortalidad en los peces se mantenga baja. El monitoreo automatizado permite al piscicultor estandarizar sus cultivos y la cantidad de insumos agrícolas que debe adquirir, teniendo mayor control sobre su producción (Plazas *et al.*, 2019).

Respecto a los requerimientos ambientales más a detalle de la especie como es el oxígeno disuelto, la especie es apta para soportar bajas concentraciones, e incluso en periodos cortos a valores menores, otra de las cosas es que a menor concentración de oxígeno el alimento se reduce, por lo consiguiente también disminuye el crecimiento de la especie, pero se debe tomar en cuenta que los parámetros van dependiendo del lugar donde se realice, por ejemplo no es lo mismo establecer un estanque en un lugar cálido debido a los problemas que se

pueden ocasionar, o como es el caso de un lugar frío donde la especie no alcanza la talla requerida (Ornelas *et al.*, 2017).

Es importante para este tipo de proyectos desarrollar planes de manejo de la especie, así como el control de la calidad del agua para tener una mejor producción de peces. El monitoreo de calidad de agua para el cultivo de peces es fundamental para incrementar la productividad y competitividad de los piscicultores (Plazas *et al.*, 2019).

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la humanidad se ha ido aumentando y la demanda de insumos es excesiva, por ende, se tienen que tomar otras medidas para la producción de alimentos, alrededor de 258 millones de personas en 58 países y territorios enfrentaron inseguridad alimentaria aguda en niveles de crisis o peores en 2022, frente a los 193 millones de personas en 53 países y territorios en 2021 (FAO, 2022).

El Censo de Población y Vivienda 2020 establece que, Chiapas tiene una población de 5,543,828 habitantes, distribuidos en 51.2% mujeres y 48.8% hombres, la demanda de alimentos en Chiapas está influenciada por factores como el crecimiento poblacional, el nivel de ingresos y las costumbres alimenticias. Además, el 28.2% de la población de Chiapas habla alguna lengua indígena, lo que refleja una diversidad cultural que puede influir en los patrones de consumo y en la demanda de alimentos tradicionales y específicos (CEIEG, 2020).

Es así cómo surge la iniciativa de desarrollar proyectos pilotos para satisfacer las necesidades alimenticias de la población, tomando esta iniciativa como una alternativa económica. El estado de Chiapas se ha caracterizado por ser un Estado productor de materias primas y productos básicos, carentes de un proceso de industrialización que les de valor agregado; superar esta condición ayudara en gran medida a mejorar los niveles de bienestar ya que es una gran alternativa para los chiapanecos.

La producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) fue introducida a México en 1964, por ser uno de los cultivos acuícolas más rentables por su alta productividad. La tilapia es cultivada en 31 de sus estados siendo los mayores productores: Chiapas, Tabasco, Guerrero, Estado de México y Veracruz (INP, 2018). La tilapia gris al igual que muchos otros cíclicos es caracterizada por la fácil adaptación en cautiverio, a condiciones físicas y químicas muy adversas, concentraciones bajas de oxígeno disuelto en el agua, y lo más importante, tiene un alto grado de tolerancia a muchas enfermedades (Saavedra, 2006).

El riesgo de contaminación de los productos acuícolas por cualquiera de estos peligros se puede prevenir implementando en la granja sistemas de reducción de riesgos como las buenas prácticas de producción piscícola. Estos factores llevan consigo problemas a la comunidad como el acceso limitado a los alimentos nutritivos ya que muchas familias en las periferias de

Tuxtla Gutiérrez no tienen acceso regular a los ya antes mencionados ricos en nutrientes, lo que contribuye a la desnutrición y otras limitantes.

Las granjas de tilapia podrían llegar a jugar un papel muy importante en la nutrición , contribuyendo de una manera positiva hablando de estos como fuente accesible ya que la tilapia es una excelente alternativa de proteínas y nutrientes esenciales, generando educación y conciencia a través de programas comunitarios, establecer estos criaderos en las localidades puede proporcionar una fuente constante y accesible de alimentos nutritivos, otro de los casos no menos importantes es la generación de empleos ya que estos criaderos pueden llegar a generar oportunidades para los habitantes mejorando así las condiciones socioeconómicas.

1.3. Justificación

La acuicultura se ha posicionado como una alternativa para cerrar la brecha entre la oferta y la demanda de productos del mar, incrementando así la seguridad alimentaria para muchos países. En México, sin embargo, su desarrollo ha sido limitado debido a la forma discontinua en que se han generado las políticas enfocadas a impulsar la actividad acuícola (Celaya *et al.*, 2018).

Se opta por un programa piloto de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) por varias razones, una de ellas es que esta especie es de fácil adaptabilidad al entorno como es el caso en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, por la temperatura ambiental que es adecuada para su desarrollo, en el caso de esta especie los rangos óptimos son entre 20-30°C, otra de las características de la mayoría de las tilapias es que aceptan fácilmente los alimentos suministrados artificialmente (Ornelas *et al.*, 2017).

Respecto a los requerimientos ambientales más a detalle como es el oxígeno disuelto, la especie es apta para soportar bajas concentraciones, aproximadamente 1mg/l, e incluso en periodos cortos a valores menores, otra de las cosas es que a menor concentración de oxígeno el alimento se reduce, por lo consiguiente también disminuye el crecimiento de los peces (Ornelas *et al.*, 2017).

Para la realización de dicho proyecto se cuenta con la disponibilidad del espacio en el área experimental del programa educativo de Ingeniería ambiental, ya que este tipo de criaderos no requieren de mucho terreno para su aplicación, otra de las ventajas de esta iniciativa es que podría inspirar a otros estudiantes a pensar en formas innovadoras de resolver problemas ambientales, de sostenibilidad y por ende el desarrollo de proyectos de investigación aplicada.

Como se menciona Ornelas *et al.* (2017) Los sistemas de producción de las tilapias varían desde muy sencillos a complejos; los sistemas de manejo sencillo se caracterizan por poco control sobre la calidad del agua, el valor nutricional del alimento y por producciones bajas. Los sistemas de cultivo tradicionales son: Extensivo, Semi-intensivo, Intensivo y súper intensivo, para el proyecto se realizará un sistema intensivo ya que se hará una modificación significativa al medio, teniendo un control del agua, las especies cultivadas y las que se cosecharán, este tipo de sistema utilizado por pequeños y medianos productores que no cuentan como suficientes

recursos económicos para grandes inversiones, donde los recursos son limitados, tomando en cuenta este punto ya que es la idea principal del proyecto.

Debemos considerar otros factores ajenos al productor, que dependen del comportamiento y adaptabilidad de la especie como es el caso de la siembra, ya que, durante el traslado de los alevines y cuestiones de oxigenación, temperatura entre otros parámetros., suelen morir antes de llegar al destino, o en tal caso durante la siembra conlleva cierto proceso que se debe llevar a cabo como es la aclimatación de los peces ya que puede ocurrir un “shock térmico”.

Conocer los parámetros de calidad de agua en estanques de peces en tiempo real, permite al productor actuar ante cualquier variación por fuera del rango normal a modo que la tasa de mortalidad en los peces se mantenga baja. El monitoreo automatizado permite al piscicultor estandarizar sus cultivos y la cantidad de insumos agrícolas que debe adquirir, teniendo mayor control sobre su producción (Plazas *et al.*, 2019).

Otro de los inconvenientes es que la especie es un tanto agresivo territorialmente hablando, o respecto al alimento debido a que estos compiten por la supervivencia en el estanque, provocando factores de mortalidad alrededor de un mínimo de 10 hasta un máximo del 20%, es por esto que la literatura nos menciona que se deben sembrar 100 alevines por metro cubico, esto es por la competencia del espacio y para evitar pérdidas (Baltazar, 2007).

De acuerdo a Celaya *et al.* (2018) considera que la pesca ha dejado de ser competente para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos de origen acuático. Por lo consiguiente la realización de este proyecto se debe a la necesidad de ciudadanía como una alternativa económica y las carencias alimenticias que se presenta en las periferias de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Es importante para este tipo de proyecto desarrollar un plan de manejo de la especie. El monitoreo de la calidad del agua para el cultivo de peces es fundamental para incrementar la productividad y competitividad de los acuacultores (Plazas *et al.*, 2019).

II. OBJETIVOS

2.1. General

2.1. Desarrollar un criadero artesanal para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el programa educativo de Ingeniería Ambiental.

2.1.1. Específicos

2.1.1. Acondicionar el área de trabajo para el crecimiento de la especie.

2.1.2. Elaborar un plan de manejo de la especie.

2.1.3. Estandarizar los parámetros físico-químicos del sistema de criadero artesanal.

2.2. Antecedentes

De acuerdo con Celaya *et al.* (2018) Los productores acuícolas mexicanos, si bien poseen conocimiento de las especies, en la mayoría de los casos cuentan con una limitada capacidad para producir a escalas grandes. La Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (LGPAS) emitida en 2007, da fin a un largo periodo amparado por la Ley de Pesca de 1992 que incluyó elementos necesarios para el desarrollo acuícola, pero no fue suficiente.

Los antecedentes del marco institucional de la acuicultura en México indican que no es una actividad reciente. Tal y como señala Herrera (1981), hacia mediados del siglo xix ya se cuestionaba si era posible el cultivo de peces en el marco de la expansión de los mercados estadounidenses y su potencial de compra, entre otros aspectos por la escasez de productos alimenticios como la carne. Desde este momento, la acuicultura en el país se empezó a considerar como una alternativa alimentaria, en consecuencia, se establecieron los primeros reglamentos y estructuras administrativas para el aprovechamiento inicial de las especies marinas.

La especie de tilapia más comúnmente cultivada es la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), que ahora se cultiva en más de 120 países de todo el mundo y ocupa el tercer lugar a nivel mundial en términos de volumen de producción, con una producción de 4,6 millones de toneladas producidas en 2019 (Wang *et al.*, 2022).

La acuicultura en pequeña escala ha tenido dificultades con frecuencia debido a un conocimiento insuficiente de ideales, como las densidades de las poblaciones de peces. Se puede obtener un mayor rendimiento de crecimiento de *O. niloticus* en la acuicultura manteniendo la cantidad óptima de alimento con una tasa y frecuencia de alimentación adecuadas, manteniendo una buena proporción de densidad de población y evaluando regularmente la calidad del agua. Sin embargo, la alta densidad de población también puede limitar el crecimiento y perjudicar la recuperación de los peces cuando las necesidades fisiológicas y espaciales no se satisfacen adecuadamente (El-Hack *et al.*, 2022).

La problemática de la producción pesquera y acuícola de México, se encuentra asociada a las deficiencias estructurales, rezago social en la producción pesquera, limitaciones de carácter organizacional, tecnológico, de asistencia y de capacitación en el trabajo; así como en las

posibilidades de crecimiento y desarrollo del sector en el marco de la concepción del desarrollo sustentable en el mediano y largo plazo. Los trabajos de acuicultura se han desarrollado en gran parte en aguas interiores, principalmente con peces y desde un enfoque de piscicultura de repoblación (Antonio, 2016).

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Importancia de la acuicultura

A nivel mundial, la acuicultura se desarrolla y expande intensivamente en casi todas las regiones del mundo, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) es el sector alimentario con mayor dinamismo a nivel global, con una tasa de crecimiento anual promedio de 8.8%, desde mediados de la década de los 80. Tal desempeño, establecen Rodríguez y Flores (2014), ha sido posible debido a los marcos normativos que generan confianza en los productores y en cómo las instituciones han incentivado a un mejor desarrollo en las cadenas globales de producción y comercio.

Los antecedentes del marco institucional de la acuicultura en México indican que no es una actividad reciente, ya que a mediados del siglo XIX ya existía el cuestionamiento de que, si ya era posible el cultivo de peces en el marco de la expansión de los mercados estadounidenses y su potencial de compra, entre otros aspectos debido a la escasez de productos alimenticios como la carne, desde ese momento, la acuicultura en el país ese empezó a considerarse como una alternativa alimentaria.

La acuicultura se ha posicionado como una alternativa para cerrar la brecha entre la oferta y la demanda de productos del mar, incrementando así la seguridad alimentaria para muchos países. En México, sin embargo, su desarrollo ha sido limitado debido a la forma discontinua en que se han generado las políticas enfocadas a impulsar la actividad acuícola (Celaya *et al*, 2018).

Por tanto, al momento de dirigir su esfuerzo para realizar el cultivo de peces se encuentran con problemas que van desde la programación de siembra de alevines, hasta el seguimiento en el proceso de producción y comercialización; además de la insuficiencia de personal técnico capacitado que dirija o asesore estos proyectos.

El problema es aún mayor cuando el cultivo se intenta llevar a escala comercial, por los elevados precios de los insumos de producción. Uno de los más caros es el alimento, el cual llega a representar entre el 40 y 60% de los costos totales de producción (Solís *et al*, 2012).

La fase de desenvolvimiento institucional fue importante hasta antes de la década de los noventa, pero posterior a ello la dinámica normativa no ha ido a la par de las exigencias globales. En la actualidad se observa un avance intermitente en los instrumentos de política acuícola y una visión integral limitada en términos del binomio acuicultura-biotecnología. Por consiguiente, y a pesar del potencial regional de México en número de especies, sigue el atraso en el manejo acuícola, con pocas capacidades en la oferta de servicios tecnológicos para una integración a las cadenas globales del comercio de especies marinas seleccionadas (Celaya *et al.*, 2018).

3.2. Biología

La tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* es un pez tropical considerado idóneo para el cultivo, ya que sus cualidades biológicas le ofrecen grandes ventajas competitivas en comparación con otros peces, entre las que destacan su rápido crecimiento corporal, resistencia a variaciones ambientales. Es por esto que la acuicultura es una práctica que debido a la demanda puede traer consigo efectos negativos al medio ambiente, ya que cuando se introducen especies que no son nativas del medio se consideran que son potencialmente invasoras.

La tilapia es un pez de tamaño mediano con un cuerpo comprimido lateralmente, Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal, el cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado y la boca es protractil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos.

3.2.1. Biometría

Para su morfología poseen aletas pares e impares, las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal, la parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta, la aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua, la piel de los peces, como el resto de vertebrados, está constituida por dos capas superpuestas, la epidermis o capa externa y la dermis, más gruesa y profunda (Saavedra, 2006).

3.2.2. Caracteres sexuales

En los machos, se pueden observar dos orificios en la parte inferior del abdomen: el ano y el orificio urogenital, el ano es claramente visible y redondo, mientras que el orificio urogenital es un pequeño punto. En las hembras, hay tres orificios: el ano, el poro genital y el orificio urinario, el ano es fácilmente identificable y redondo, el orificio urinario es muy pequeño y difícil de ver a simple vista, el poro genital se encuentra en una hendidura que es perpendicular al eje del cuerpo.

3.2.3. Reproducción

Todas las especies de *Tilapia* presentan una madurez sexual temprana, entre las especies más comunes podemos mencionar a *Oreochromis niloticus*, que alcanza su madurez sexual entre los 30-50 g. Las *Tilapias* hembras desovan en repetidas ocasiones, normalmente, una hembra realiza 12 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura. Cada puesta puede contener entre 200 y 2000 huevos, después de la fertilización uno o ambos padres vigilan cuidadosamente la hueva durante el desarrollo hasta que eclosiona y las larvas alcanzan el estadio de natación (Baltazar, 2007).

Los tres géneros de *Tilapia* presentan importantes diferencias en el comportamiento del cuidado parental:

1. *Tilapia*: los huevos fertilizados son cuidados en nidos excavados en el fondo del estanque por los machos.
2. *Oreochromis*: los huevos fertilizados son incubados por las hembras manteniéndolos en su boca durante el periodo de 5 a 8 días.

Oreochromis es el género más importante en la acuicultura debido a que presenta las tasas más altas de crecimiento, fácil reproducción y manejo, entre otros factores, cuando una hembra de esta especie está lista para desovar, visita la zona de reproducción o *lek*. Esta zona consiste en una parte del fondo del estanque, donde varios machos han establecido nidos individuales y bien defendidos. Después de un breve cortejo, la hembra deposita los huevos mientras que simultáneamente el macho los fertiliza. Luego la hembra recoge los huevos fertilizados en su boca para incubarlos y abandona la zona de apareamiento. Después de un periodo de

incubación de 20 a 25 días, los alevines eclosionados son liberados en aguas poco profundas, luego la hembra reanuda su actividad alimenticia y recupera la condición de sus ovarios en un periodo de 2-4 semanas, después de lo cual ella está lista para una nueva puesta (Baltazar, 2007).

3.3. Sistemas de cultivo

Los sistemas de producción de tilapia varían desde sencillos a muy complejos; los sistemas de manejo sencillo se caracterizan por poco control sobre la calidad del agua, el valor nutricional del alimento y por producciones bajas. Los sistemas de cultivo tradicionales son: Extensivo, Semi-intensivo, Intensivo y súper intensivo (Saavedra, 2006).

3.3.1 Sistema intensivo

Los sistemas de producción de tilapia varían desde sencillos a muy complejos; los sistemas de manejo sencillo se caracterizan por poco control sobre la calidad del agua, el valor nutricional del alimento y por producciones bajas. Los sistemas de cultivo tradicionales son: Extensivo, Semi-intensivo, Intensivo y súper intensivo (Saavedra, 2006).

Como se menciona en Ornelas *et al.* (2017) Los sistemas intensivos muchas veces el alimento se ofrece en una sola ración y causa que el alimento permanezca más tiempo en el tracto digestivo y la digestibilidad disminuya; además que el alimento remanente se hidrata y permanece en la columna de agua consumiendo OD y al precipitarse se favorece la acumulación de nutrientes en el fondo, deteriorando la calidad del agua

En los sistemas intensivos de producción se realiza una modificación sustantiva sobre el medio ambiente, con control completo sobre el agua, especies sembradas y cosechadas; se usa una tasa de siembra mayor, ejerciendo mayor control sobre la calidad de agua (ya sea a través de aireación de emergencia o con recambios diarios) y todo nutriente necesario para el crecimiento que proviene del suministro de un alimento completo. En este sistema se pueden utilizar estanques de tierra, de concreto o jaulas flotantes.

3.4. Calidad del agua

La calidad del agua está determinada por sus propiedades físico-químicas, entre las más importantes destacan: temperatura, oxígeno, pH y transparencia. La mayoría de las veces la mala calidad del agua de manera directa se asocia a la presencia de agentes patógenos, la transparencia del agua superior a la recomendada puede causar al organismo estrés por la luminosidad y la mayor exposición a los depredadores, además esta agua tan clara se traduce en una carencia de productores primarios, lo que repercute en la falta de generación de oxígeno disuelto en el agua (OD) Ornelas *et al.* (2017).

Estas propiedades influyen en los aspectos productivos y reproductivos de los peces, por lo que, los parámetros del agua deben mantenerse dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de la tilapia.

TABLA 1. INDICADORES

Parámetros	Rangos
Temperatura	25.0 – 32.0 °C
Oxígeno disuelto	5.0 – 9.0 mg/l
pH	6.0 – 9.0
Alcalinidad total	50 – 150 mg/l
Dureza total	80 – 110 mg/l
Calcio	60 – 120 mg/l
Nitritos	0.1 mg/l
Nitratos	1.5 – 2.0 mg/l
Amonio total	0.1 mg/l
Hierro	0.05 – 0.2 mg/l
Fosfatos	0.15 – 0.2 mg/l
Dióxido de carbono	5.0 - 10 mg/l
Sulfuro de hidrógeno	0.01 mg/l

Fuente: Manejo del cultivo de tilapia (Saavedra, 2006).

3.4.1. *Parámetros más importantes*

- **Temperatura**

El rango óptimo es de 28-32 °C, cuando disminuye a los 15 °C los peces dejan de comer y cuando desciende a menos de 12 °C no sobreviven mucho tiempo, cuando la temperatura es mayor a 30 °C los peces consumen más oxígeno y las temperaturas letales se ubican entre los 10-11 °C.

- **Oxígeno**

La concentración y disponibilidad de oxígeno disuelto son factores críticos para el cultivo de tilapia. Es uno de los aspectos más difíciles de entender, predecir y manejar y tiene mucho que ver con las mortandades, enfermedades, baja eficiencia en conversión de alimento y la calidad de agua, normalmente, en los cuerpos de agua ricos en nutrientes, el oxígeno es abundante a mediados de la tarde y bastante limitado al amanecer.

- **Salinidad**

Los peces pueden tolerar diferentes concentraciones de salinidad, pero son sensibles a los cambios bruscos de la misma. El agua de mar contiene 50 a 300 ppm (partes por millón) de salinidad, el agua dulce tiene lo mínimo, normalmente menor o igual a 1 ppm. La *O. niloticus* puede vivir, crecer y reproducirse a una salinidad de 20 a 35 ppm.

- **pH**

El pH interviene determinando si un agua es alcalina o acida, la tilapia crece mejor en aguas de pH neutro o bajo alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un pH de 5. Con valores de 6.5 a 9 se tienen condiciones para el cultivo.

3.4.2. *Sanidad*

Al mantener los peces en cautiverio las condiciones de hábitat son bastantes diferentes a las de su hábitat natural, a medida que las producciones se intensifican, las alteraciones del ambiente son mayores lo cual posibilita la aparición de enfermedades. Por esta razón es necesario tener el conocimiento de las condiciones ambientales del medio y de la especie, tanto como el cultivo y de los posibles agentes infecciosos que pudieran atacar a los peces (Saavedra, 2006).

También se han presentado casos donde se observa decoloración en branquias lo que generalmente se relaciona con crisis de oxígeno disuelto (OD) durante las noches y madrugadas, debido a la oxigenación del fitoplancton y las micro algas (que empieza desde el ocaso, iniciándose la fase oscura de la fotosíntesis) al alimento suministrado además de los procesos de óxido-reducción en el fondo. El estrés influye sobre los cambios fisiológicos e inmunológicos de los organismos, se crean catecolaminas en plasma, corticosteroides y se eleva la concentración de glucosa, además de cambios etológicos mostrando agresividad y nado errático, otro de los problemas que presentan es el canibalismo ya que esta especie es agresiva por naturaleza, siendo este un factor muy importante en el hábitat, provocando la competencia entre ellos mismos (Ornelas *et al.*, 2017).

3.5. Alimentación

Saavedra, (2006) establece que los organismos naturales alimenticios encontrados en un estanque proveen nutrientes esenciales. En algunas ocasiones, este alimento natural no se encuentra disponible en suficiente cantidad para proveer la adecuada nutrición para que los peces crezcan. Cuando esto sucede, los peces se deben alimentar a intervalos regulares (por ejemplo, diariamente de tres veces a seis veces al día), con alimentos concentrados manufacturados a cierta cantidad de proteína o grasas.

3.6. Cosecha

La cosecha es la etapa final del cultivo, se pueden realizar cosechas totales o parciales, dependiendo de la cantidad y frecuencia con que se desee tener producto disponible para la comercialización. Las cosechas se realizan cuando los animales han alcanzado un tamaño adecuado para su venta, dependiendo el tipo de sistema de cultivo se pueden realizar, lo más común es de 4 a 6 meses (Saavedra, 2006).

3.7. Impacto ambiental

Después del arroz, los productos forestales, la leche y el trigo, los peces son el quinto recurso natural más importante y el mayor proveedor de proteína animal que consumen más de mil millones de personas en todo el mundo, proveen el 25% de la proteína animal en países desarrollados y más del 75% en los países en vías de desarrollo. La actividad acuícola se incrementó del 3,9 % en 1970 al 29,1 % en el 2000, la producción mundial de pesca y

acuicultura en el año 2001 fue de 130,2 millones de toneladas, correspondiéndole a la acuicultura 37,9 millones de Toneladas y a la pesca 92,3 millones de Toneladas. El año 2002 el número de especies animales y vegetales cultivadas ascendió a 220, a diferencia de los sistemas agropecuarios terrestres en los cuales la mayor parte de la producción mundial se obtiene de un número limitado de especies animales y plantas. Las Tilapias contribuyen con una producción aproximada del 20% del volumen total de peces. Siendo la especie más importante *O. niloticus*, *O. mossambicus*, y *O. Aurea*, con un aporte equivalente al 85%. Actualmente la producción mundial de Tilapia cultivada y pescada en ambientes naturales sobrepasa los 2 millones (Ornelas *et al.*, 2017).

3.8. Marco legal y normativo

La tilapia es una especie muy resistente a enfermedades si se siguen ciertos controles en materia de inocuidad y sanitaria es poco probable que surjan problemas.

1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM)

- Establece la base jurídica para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales.
- Garantiza el derecho a un medio ambiente sano para todos los ciudadanos (art. 4°).

2. Diario Oficial de la Federación (DOF)

- Publica leyes, reglamentos y lineamientos aplicables al cultivo de tilapia y otras especies acuícolas.

3. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

- **NOM-060-SAG/PES-2016:** pesca responsable de cuerpos de aguas continentales dulces de jurisdicción federal; especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros.
- **NOM-059-SAG/PESC-2010:** regula las prácticas de acuicultura, incluyendo tilapia, para un manejo sustentable.

4. Organismos internacionales

- Organización Mundial de la Salud (OMS): lineamientos de salud pública e inocuidad de alimentos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): prácticas de acuicultura sostenible.
- Organización Mundial de Comercio (OMC): acuerdos comerciales internacionales de productos pesqueros.
- Comisión de las Comunidades Europeas (CCE): regulaciones para exportación e intercambio comercial.
- Red Internacional de Autoridades de Inocuidad de los Alimentos (INFOSAN): cooperación internacional en inocuidad alimentaria.

5. Lineamientos técnicos y de manejo

- Mantener condiciones ambientales estables.

- Asegurar densidades de siembra adecuadas y la calidad del alimento.
- Eliminar depredadores durante la siembra.
- Mantener un suministro constante de agua, permitiendo recambios rápidos de agua en caso de emergencia.

IV. MARCO METODOLÓGICO

De acuerdo con el *Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024* del ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez (2022), las características fisiográficas y ambientales del municipio desempeñan un papel fundamental en el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales. Factores como la temperatura, el clima, tipo de suelo y la hidrografía determinan no solo las condiciones de habitabilidad, sino también la viabilidad de actividades productivas entre ellas la acuacultura. En este sentido, la planeación municipal reconoce la importancia de dichos elementos para establecer estrategias que garanticen un desarrollo sostenible y adaptado a particularidades del entorno local.

El municipio de Tuxtla Gutiérrez, se encuentra ubicado en la Región Socioeconómica I Metropolitana, a una altitud de 522 msnm. Limita al norte con San Fernando y Osumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocoautla de Espinosa y Berriozábal. Según el Marco Geoestadístico 2020 que publica el INEGI, tiene una superficie de 1,799 km², cuenta con una extensión territorial de 334.61 km², que representa 0.45% del territorio estatal y el 18.6% de la superficie regional.

Temperatura

El clima del municipio es principalmente cálido subhúmedo con lluvias en los meses de verano y semicálido subhúmedo en otoño. En los meses de mayo a octubre, las temperaturas mínimas promedio son de 18 a 21 °C. En tanto que las máximas promedio en este periodo son de 30 a 33 °C. Por otro lado, durante los meses de noviembre a abril, las temperaturas mínimas promedio se distribuyen de 12 a 15 °C. Mientras que las máximas promedio, en este mismo periodo son de 24 a 27 °C, de 27 a 30 °C y de 30 a 33 °C.

Precipitación pluvial

La precipitación media anual en Tuxtla Gutiérrez es de aproximadamente 900 mm, concentrándose principalmente en la temporada de lluvias, que va de mayo a octubre. Los meses más lluviosos son junio y septiembre, con precipitaciones copiosas que pueden durar más de 24 horas debido a la temporada de huracanes.

Edafología

De acuerdo a la carta geográfica de Chiapas 2017, los datos vectoriales edafológicos de la superficie del municipio están compuesta por los tipos suelos de Leptosol (35.37%); Regosol (18.64%), Vertisol (18.31%), Luvisol (11.38%) y el resto correspondiente al 16.3% incluye cuerpos de agua y asentamientos humanos. En relación a los tipos de roca que conforman la corteza terrestre en el municipio son: Caliza-Lutita (roca sedimentaria) (37.88%), Caliza (roca sedimentaria) (24.87%), Aluvial (suelo) (20.78%), Limoli-ta-Arenisca (roca sedimentaria) (11.61%) y Lutita-Arenisca (roca sedimentaria) (4.87%). Estas características geológicas y edáficas son fundamentales para determinar el uso de suelo y las actividades productivas viables de la región.

Hidrografía

Tuxtla Gutiérrez se encuentra en la cuenca del río Grijalva, es una de las más importantes del estado. Este río es una fuente clave de recursos hídricos para la región y juega un papel crucial en las actividades económicas y ecológicas del municipio.

El objetivo principal de la presente investigación fue desarrollar un criadero artesanal para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el programa educativo de ingeniería ambiental un periodo de 6 meses, se trabajó de acuerdo a la metodología experimental de la guía práctica para el cultivo de tilapia en estanques, pero se hicieron modificaciones de acuerdo a las posibilidades en el momento de la realización.

La investigación experimental del criadero de tilapia se realizó utilizando un enfoque cuantitativo. Esta se caracterizó por aplicar estudios de investigación documental de datos narrativos a través de la recolección de datos de otros autores, es decir, una recopilación de experiencias u observaciones de los mismos. El proyecto se basa en hechos donde, en conjunto con los resultados obtenidos *in situ* donde se analizaron las variables para conocer el comportamiento de la especie.

4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en 16°46'41.5" N 93°07'20.7" W ubicado en Caleras Maciel, 29014 Tuxtla Gutiérrez Chiapas; en el área experimental del programa de educativo de ingeniería ambiental, dentro de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

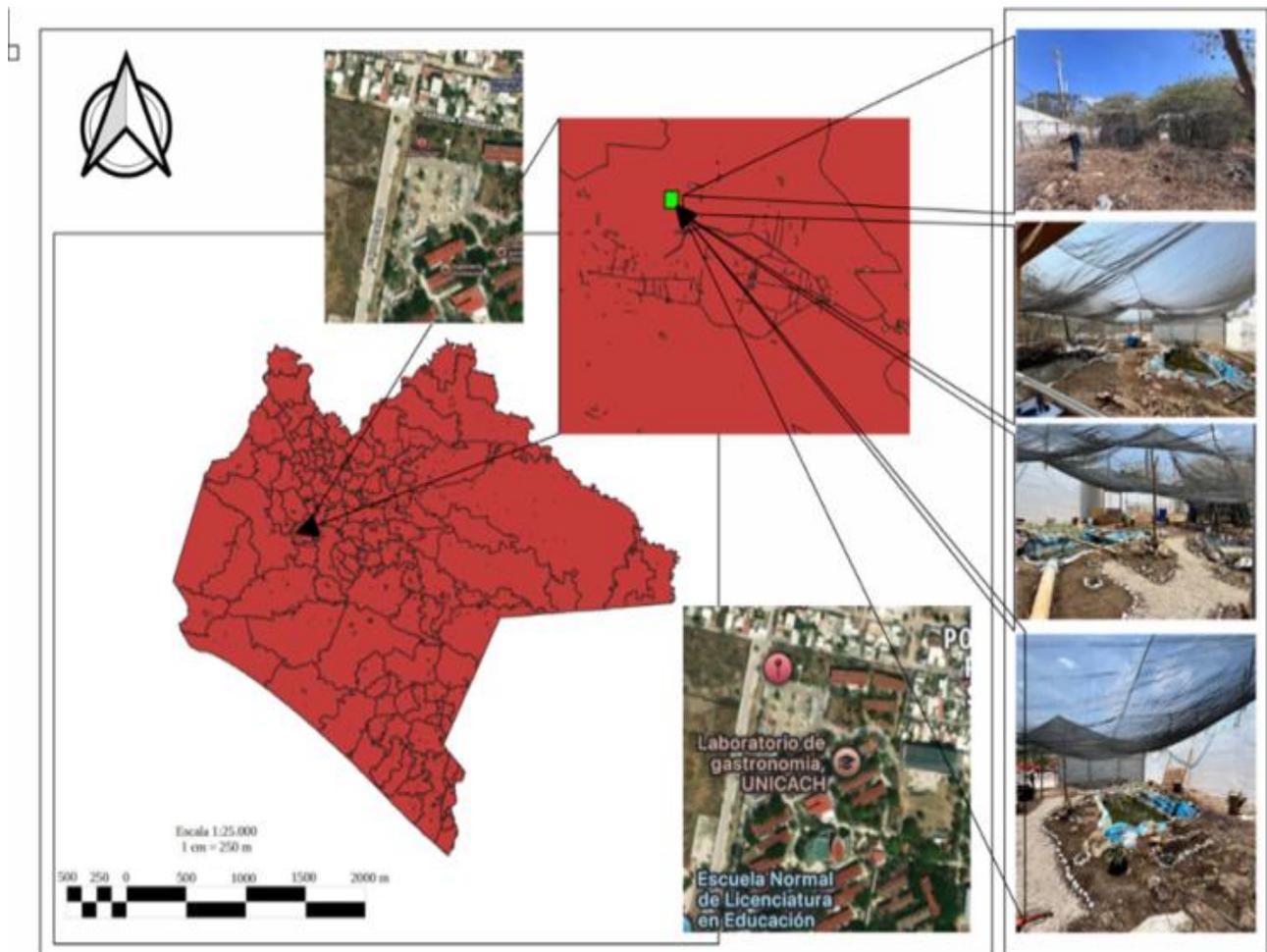


FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO

Fuente: Álvarez, 2024.

4.2. Diseño de estudio

Para el diseño del criadero se realizó un sistema intensivo ya que se caracteriza por el control del agua, ya sea a través de aireación o recambios de agua, la alimentación ya que en estos sistemas muchas veces la alimentación al permanecer en contacto con el agua, consume oxígeno disuelto (OD) y al precipitarse favorece la acumulación de nutrientes en el fondo deteriorando la calidad del agua, otra de las características son las especies sembradas y cosechadas, para este sistema se utiliza una tasa de siembra mayor, ya que por cuestiones de adaptación al espacio se espera una tasa de mortandad del 20%, independientemente de los demás nutrientes necesarios para el crecimiento de la especie (Ornelas *et al.*, 2017).

Los elementos para el cultivo de la especie que se tomaron en cuenta fue el tipo de suelo, ya que este es muy importante para la construcción de manera que la utilización de este limita la filtración del agua en el fondo y las paredes del estanque, donde se empezó por el diseño del estanque fue realizado de manera que alcanzara una profundidad aproximada de 85 cm, un ancho de 165 cm y un largo de 428 cm, garantizando así que los alevines tuvieran espacio suficiente para permanecer en el estanque sin problema.



FIGURA 2. VISITA DE CAMPO AL SITIO Fuente: Álvarez, 2024.

Para la elaboración del estanque, se consideraron indispensables herramientas como palas, cubetas, picos, carretillas y machetes, las cuales fueron utilizadas para limpiar el área de trabajo, posteriormente se retiraron las malezas, ramas, piedras que pudieran llegar a obstaculizar el diseño, de igual manera se procedió a instalar una malla sombra con el objetivo de regular la temperatura ambiental y evitar que el agua del estanque alcanzara temperaturas altas.



FIGURA 3. LIMPIEZA DEL ÁREA

Fuente: Álvarez, 2024.

4.2.1. *Nivel del agua*

En la fase experimental, y considerando las mediciones previamente realizadas, se construyó el estanque ubicándolo sobre la zona de pendiente mínima del terreno, con el fin de mitigar el riesgo de rebalse durante la temporada de lluvias. Esta ubicación se seleccionó para garantizar una adecuada evacuación del agua y los sedimentos en caso de que el nivel del agua excediera la capacidad del sistema, gracias a un mecanismo de drenaje diseño para tal fin.

Para determinar el nivel óptimo del agua, se procedió a llenar el estanque hasta una altura que evitara cualquier riesgo de rebalse, se utilizó agua de pipa la cual se dejó reposar durante cuatro

días, esto para permitir la evaporación del cloro residual y otros compuestos químicos presentes en el agua, reduciendo así los riesgos para los peces. Además, este proceso contribuyó a la estabilización térmica del agua, favoreciendo condiciones más adecuadas para los organismos acuáticos.

Con el fin de asegurar la oxigenación adecuada del agua del estanque, se empleó una bomba sumergible de ½ Hp, utilizando el método Venturi para mantener un flujo constante de agua. El sistema fue configurado para operar durante la noche como el día, garantizando así un suministro continuo de oxígeno disuelto en el agua.

El uso del método Venturi permite la aspiración de aire a través de la corriente de agua, mejorando la eficiencia de la oxigenación, este proceso no solo previene el estrés en los peces, sino que también contribuye a mejorar su bienestar general y favorece su supervivencia reduciendo el riesgo de enfermedades asociadas a la falta de oxigenación.

La desinfección es el proceso que se lleva a cabo para eliminar o controlar los microorganismos en el agua que pudieran afectar negativamente su calidad, la desinfección solar constituye un método de bajo coste y eficaz para proporcionar agua de consumo, tanto a nivel doméstico como agrícola (Fabregat *et al.*, 2024).



FIGURA 4. OXIGENACIÓN MÉTODO VENTURI Fuente: Álvarez, 2024.

4.3. Preparación del estanque para la siembra

Una vez transcurrido el tiempo de descontaminación del agua del estanque, se procedió a iniciar el proceso de recirculación del agua con el objetivo de promover la oxigenación previa a la siembra, este paso es fundamental para adaptar las condiciones ambientales del sistema acuático, garantizando parámetros óptimos de oxígeno disuelto y otros factores que favorezcan el desarrollo y supervivencia de los organismos acuáticos.

Una de las aplicaciones térmicas de la energía solar que puede manejarse con tecnología desde simple hasta muy sofisticada, es precisamente la producción de agua a partir de agua de mar o de agua dulce con algún problema de contaminación, la desinfección implica la exposición de los microorganismos a condiciones física a fin de destruirlos o detener su crecimiento, donde el criterio de muerte de un microorganismo es la pérdida irreversible de la habilidad para reproducirse creando un entorno más seguro para el cultivo (Fabregat *et al.*, 2024).

Para la siembra de los alevines, se introdujo la bolsa que contenía los ejemplares en la superficie del agua con el fin de permitir su adaptación gradual a las condiciones térmicas y de calidad del agua.



FIGURA 5. DESCONTAMINACIÓN DEL AGUA

Fuente: Álvarez, 2024.

Este proceso de aclimatación se mantuvo durante un período de 20 minutos para evitar un posible shock térmico. Tras este tiempo, se procedió a abrir la bolsa y sumergirla en el agua, facilitando la liberación de los alevines. Luego, se observó que los individuos comenzaron a salir de la bolsa de forma natural. Finalmente, se verificó que todos los alevines hubieran sido liberados antes de retirar completamente la bolsa del estanque.



FIGURA 6. ACLIMATACIÓN Y SIEMBRA

Fuente: Álvarez, 2024.

4.4. Monitoreo *in situ*

Este estudio se realizó con un equipo de medición de bolsillo combo “HANNA” HI98129 de pH/ conductividad/ TDS/ Temperatura de manera diaria dos veces al día en un horario de 8:00 am y 2:00 pm, esto fue para tener un control de las variables. Los parámetros que se midieron fueron temperatura, oxígeno y pH, ya que estos parámetros del agua deben mantenerse dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de la tilapia.

En este paso también se cuidó la calidad del agua con base a los parámetros que se fueron midiendo a lo largo del tiempo, en este paso también se hicieron recambios de agua debido a la acumulación de materia orgánica y sedimentos debido a las heces fecales de los peces.

TABLA 2. RESULTADOS DEL MONITOREO *IN SITU*

T. atmosférica °C	T.agua °C	pH	SD mg/L	CE µS/cm
23.6	24.4	8.5	530	1056
25.5	24.8	8.4	550	1100
28.2	25.5	8.5	549	1094
26.6	25.8	8.6	551	1114
27.3	26.1	8.7	552	1092
28.6	26.5	8.5	554	1092
29.6	26.8	8.7	552	1103
25.6	25.2	8.7	562	1133
25.2	23.7	8.8	573	1146
24.2	23.4	8.9	575	1160
36.8	28.7	9.2	550	1082
36.8	29	8.9	565	1151
28.7	25.7	8.8	553	1108
38.3	29.5	9.2	563	1103
34.1	28.6	9.1	597	1118
34.1	28.3	8.9	597	1117
33.9	30.6	8.9	627	1268
33.9	28.9	8.4	604	1204
28.9	28.1	8.3	631	1265
28.8	26.8	8.5	676	1357
32.1	28.6	8.7	641	1284
28.8	26.3	8.7	631	1265
28.8	23.5	8.4	678	1294
28.5	24.3	8.4	638	1284



FIGURA 7. MONITOREO *IN SITU*
Fuente: Álvarez, 2024.

4.5. Alimentación

Después de la siembra y la aclimatación de los alevines se comenzó con el proceso de alimentación, este consistió en dos veces al día en un horario de 8:00 am y 2:00 pm al mismo tiempo del monitoreo, el alimento que se les proporcionó dependiendo la talla y peso que tenían en el momento que fue 1.2 gramos, por lo que se les proporcionaron 10 gramos de alimento en ambos momentos del día y se hizo el monitoreo de los parámetros como temperatura del agua y ambiente, oxígeno, pH y Sólidos disueltos.



FIGURA 8. ALIMENTACIÓN Fuente: Álvarez, 2024.

4.6. Recambios de agua

Debido a las condiciones del agua que se fueron presentando se optó por hacer un primer recambio de agua ya que debido a que comenzó la temporada de lluvia los sedimentos que estaban en el fondo se empezaron a remover, provocando que el agua se empezará a poner un tanto turbia y la opción más viable fue cambiar el agua para evitar enfermedades o algún problema que provocará una mortandad en masa de los peces. En este paso se movieron los peces de un estanque a otro para poder hacer la limpieza de la misma y que las condiciones del agua empezaran a cambiar.



FIGURA 9. RECAMBIO DE AGUA
Fuente: Álvarez, 2024.

4.6.1. Baño de inmersión en sal

En este paso se optó por un recambio de agua donde lo que se hizo fue, sacar los peces del estanque con unas rejas para poder atraparlos, para posteriormente en un bote de agua con capacidad de 4 litros, este se adaptó a manera de que se pudiera introducir el pez uno por uno para poder obtener la talla y el peso.



FIGURA 10. BAÑO DE INMERSIÓN EN SAL
Fuente: Álvarez, 2024.

Se colocó un puño de sal en 2 litros de agua a modo de relajar al pez para poder obtener los datos que se necesitaron, además de la descontaminación de los mismos y en caso de alguna herida funciona para la cicatrización ya que el comportamiento de los peces enfermos se diferencia a simple vista, para después introducirlos de nuevo al estanque con el agua limpia. Posteriormente se continuó con el monitoreo diario de los parámetros *in situ*.



FIGURA 11. REGISTRO DE TALLA Y PESO
Fuente: Álvarez, 2024.

4.7. Cosecha

La cosecha es la etapa final del cultivo lo que significa que las tilapias ya han alcanzado la talla y peso, en este caso se realizó una cosecha total del cultivo que se obtuvo, para lograr esto primeramente se hizo el vaciado parcial del estanque para poder sacar los peces con ayuda de canastas de plástico, esto para poder llevar un mayor control del registro y conteo de los mismos.



FIGURA 12. TILAPIAS DURANTE LA COSECHA

Fuente: Álvarez, 2024.



FIGURA 13. TILAPIA

Fuente: Álvarez, 2024.

4.8. Registro de datos

Durante la cosecha, se registró la talla y el peso de cada una de las tilapias para poder hacer un análisis estadístico y llevar un registro del proceso de crecimiento en el tiempo estimado, además de los indicadores que se tomaron durante el monitoreo *in situ*.



FIGURA 14. CRECIMIENTO EN EL MES DE MAYO
Fuente: Álvarez, 2024.

Fecha	Longitud	Peso	Alimento	T. Agua	pH	DO	Temperatura	Observaciones
05-05-2024	1.10 cm	1.10 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
06-05-2024	1.20 cm	1.20 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
07-05-2024	1.30 cm	1.30 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
08-05-2024	1.40 cm	1.40 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
09-05-2024	1.50 cm	1.50 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
10-05-2024	1.60 cm	1.60 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
11-05-2024	1.70 cm	1.70 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
12-05-2024	1.80 cm	1.80 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
13-05-2024	1.90 cm	1.90 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
14-05-2024	2.00 cm	2.00 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
15-05-2024	2.10 cm	2.10 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
16-05-2024	2.20 cm	2.20 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
17-05-2024	2.30 cm	2.30 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
18-05-2024	2.40 cm	2.40 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
19-05-2024	2.50 cm	2.50 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
20-05-2024	2.60 cm	2.60 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
21-05-2024	2.70 cm	2.70 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
22-05-2024	2.80 cm	2.80 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
23-05-2024	2.90 cm	2.90 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
24-05-2024	3.00 cm	3.00 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
25-05-2024	3.10 cm	3.10 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
26-05-2024	3.20 cm	3.20 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
27-05-2024	3.30 cm	3.30 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
28-05-2024	3.40 cm	3.40 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
29-05-2024	3.50 cm	3.50 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
30-05-2024	3.60 cm	3.60 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal
31-05-2024	3.70 cm	3.70 g	1	28.5	7.2	6.5	28.5	Normal

FIGURA 15. BITÁCORA DEL REGISTRO DE DATOS
Fuente: Álvarez, 2024.

5. RESULTADOS

Para la elaboración del estanque de aprovechó el cóncavo del medio en el terreno que donde se estableció el criadero, donde posteriormente se hicieron los trabajos de limpieza, tanto de remoción de malezas, piedras y los procesos de excavación, el estanque fue realizado de manera que alcanzara una profundidad aproximada de 85 cm, un ancho de 165 cm y un largo de 428 cm, todo esto para garantizar un espacio adecuado para la supervivencia de la especie.

Una vez realizado este paso se hizo el recubrimiento del estanque con cartón compacto esto para evitar que la lona no sufriera algún daño con piedras, troncos o cualquier otro objeto del fondo que pudiese perjudicar más adelante el diseño del estanque.

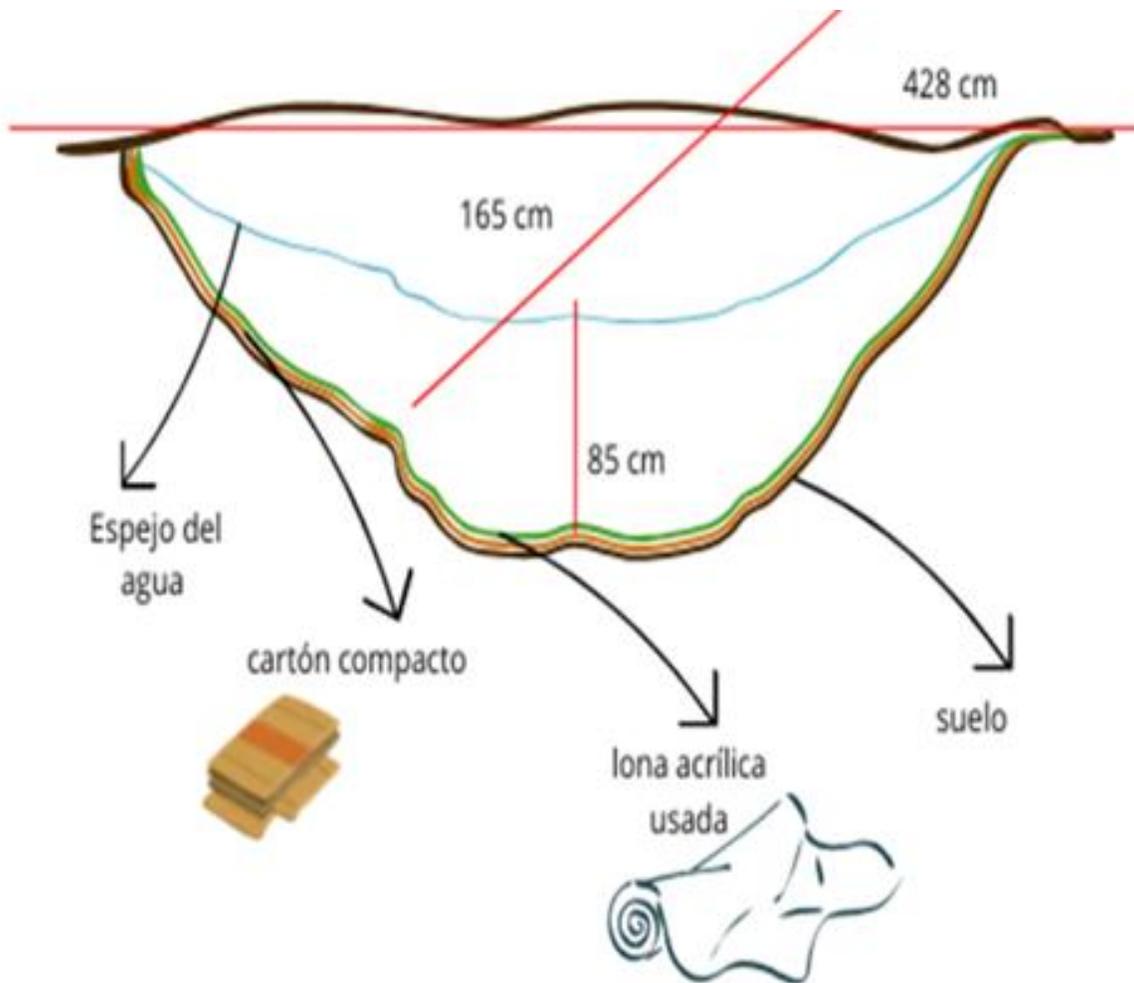


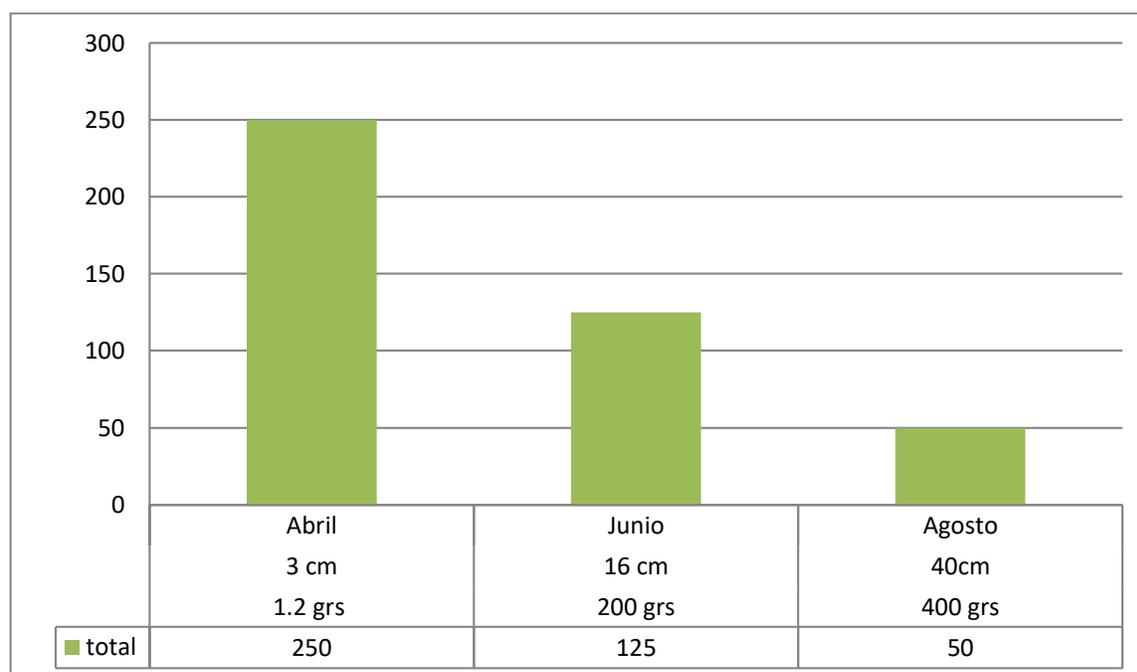
FIGURA 16. DISEÑO DEL ESTANQUE

Fuente: Álvarez, 2024.

La gráfica representa los resultados obtenidos en la bitácora de datos en relación al peso, talla y mortalidad de los peces en tres periodos de evaluación: abril, junio y agosto. Se observa que, a lo largo del ciclo, la población disminuyó debido a la mortalidad, pasando de 250 a 50 ejemplares; sin embargo, se presentó un crecimiento significativo en talla (3 a 40 cm) y peso (de 1.2 g a 400 g), lo que refleja un buen desarrollo de los peces sobrevivientes.

En términos generales, la gráfica muestra una clara disminución en el número de peces debido a la mortalidad registrada a lo largo del ciclo, mientras que de manera simultánea se observa un incremento significativo en talla y peso, lo que refleja un adecuado crecimiento de los ejemplares sobrevivientes.

FIGURA 17. GRÁFICA DE TALLA, PESO Y MORTALIDAD



Fuente: Álvarez, 2025.

La tabla presenta los parámetros fisicoquímicos monitoreados durante el ciclo de cultivo de tilapia, específicamente temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos. Los registros se realizaron en dos horarios, a las 8:00 a.m. y a las 2:00 p.m., mostrando tanto el rango como el promedio de cada parámetro.

En general, los valores se mantuvieron dentro de los límites recomendados para el cultivo, lo que permitió condiciones adecuadas para el desarrollo de la especie.

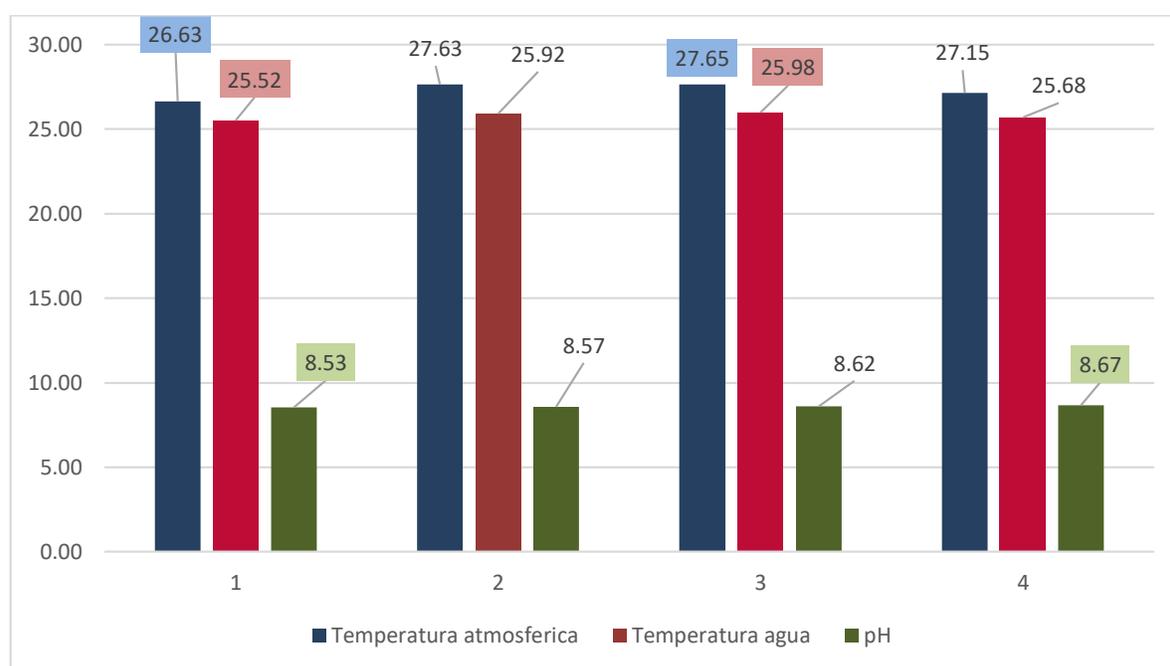
TABLA 3. RESULTADOS PROMEDIO DEL MONITOREO *IN SITU*

Parámetros	Temperatura	pH	Conductividad	TDS (Total sólidos disueltos)
Rango	25.0 – 32.0 °C	6.0 – 9.0	100 – 2,000 μS/cm	200 y-500 mg/L
8:00 a.m.	26°C	8.2	500μS/cm	450 mg/L
2:00 p.m.	28°C	9.0	590μS/cm	470 mg/L

Fuente: Álvarez, 2025.

De acuerdo con los registros en la bitácora, los parámetros ambientales y del agua se mantuvieron dentro de los rangos estables a lo largo del ciclo. La temperatura atmosférica presentó un mínimo de 26.63 °C y un máximo de 27.63 °C, mientras que la temperatura del agua osciló ligeramente entre 25.52 °C y 25.98 °C. En cuanto al pH, los valores fluctuaron entre 8.53 y 8.67, manteniéndose en niveles adecuados para el desarrollo de la especie cultivada. Estos resultados reflejan condiciones favorables para el crecimiento de los organismos.

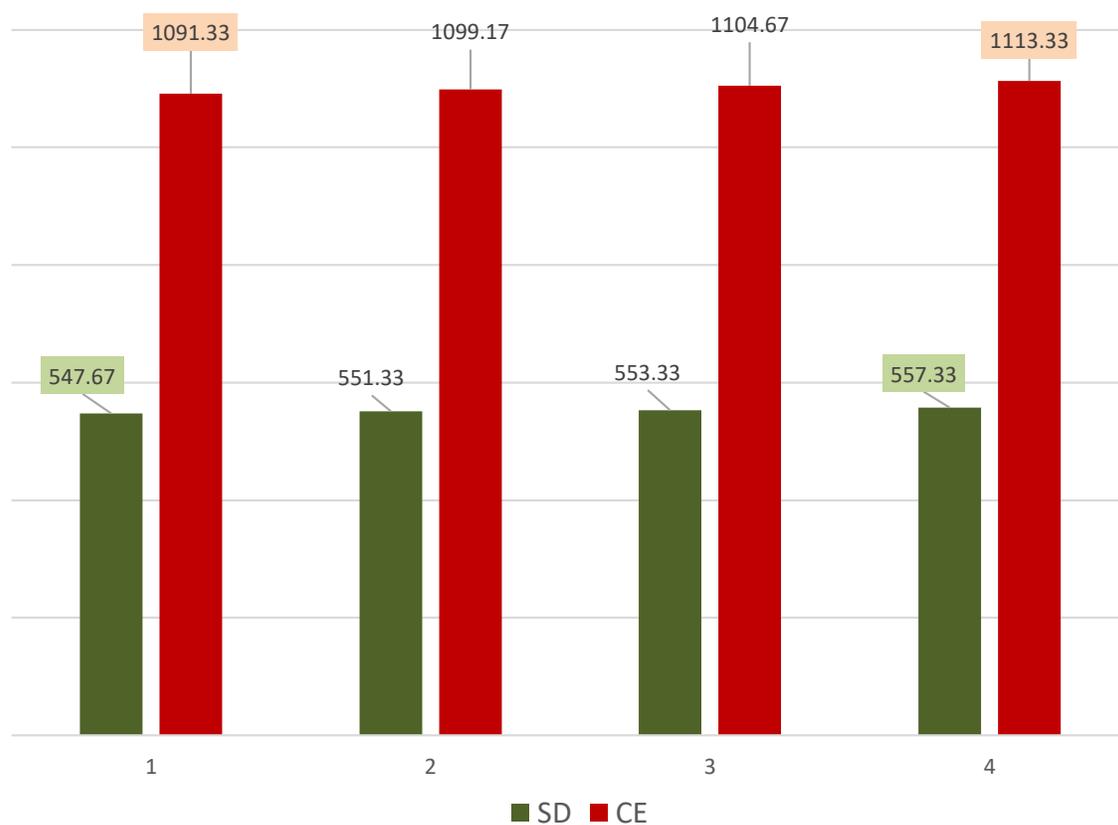
FIGURA 18. GRÁFICA DEL REGISTRO DE PARÁMETROS AMBIENTALES A LO LARGO DEL CICLO DE CULTIVO



Fuente: Álvarez, 2025.

Los registros de la bitácora indican que los sólidos disueltos (SD) presentaron un valor mínimo de 547.67 mg/L y un máximo de 557.33 mg/L, mostrando estabilidad en el sistema. En cuanto a la conductividad eléctrica (CE), los valores oscilaron entre 1091.33 y 1113.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, manteniéndose dentro de los rangos adecuados para para el desarrollo de los organismos, estos resultados reflejan que las condiciones físico-químicas del agua fueron favorables durante todo el ciclo de cultivo.

FIGURA 19. VALORES DE SÓLIDOS DISUELTOS Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA REGISTRADOS DURANTE EL CULTIVO



Fuente: Álvarez, 2025.

La tabla presenta los costos asociados al cultivo de tilapia, destacando que la inversión principal de \$3,024.00 se destinó a los insumos esenciales como la bomba sumergible, pipas de agua y alimento, mientras que elementos como la malla sombra, el cartón compacto, lona acrílica y las herramientas fueron obtenidos mediante donaciones, de igual manera como es el caso de los alevines por parte de AQUA GENETICS, S.A. de C.V.; En términos generales, la inversión fue baja a comparación de otros tipos de sistemas y permitió adquirir materiales que podrán ser utilizados en mejoras futuras del sistema de cultivo.

TABLA 4. COSTOS

Costos		
Insumo	Costo	Total
Bomba sumergible ½ Hp	\$690	\$690
Alevines	Donación	
Malla sombra	Material reciclado	
Cartón compacto	Material reciclado	
Lona acrílica	Material reciclado	
Herramientas	Donación	
3 pipas de agua 3000 litros	\$350	\$1,050
Alimento fase 1 engorda 10 kg	\$500	\$500
2 Bulto de alimento fase 2 20 kg	\$392	\$784
Total		\$3,024

Fuente: Álvarez, 2024.

6. CONCLUSIONES

Las condicionantes del área se optimizaron de acuerdo al plan de manejo de la especie, en cuanto a la cantidad de especie por m³, derivado a la cuestión territorial, la oxigenación, y la carga de M.O. (heces fecales, residuos de alimento), siendo estos elementos fundamentales para el bienestar y crecimiento de la especie.

Se desarrolló un plan de manejo con base a los requerimientos ambientales como habitat, control sanitario y la gestión del ciclo de vida de los peces, promoviendo una producción más eficiente y sostenible.

El monitoreo constante de los parámetros como la temperatura ambiental y del agua, pH, C.E y S.D, fue crucial para mantener las condiciones óptimas en el criadero.

Durante el monitoreo de cuatro meses en el criadero artesanal de tilapia, se evaluaron cinco parámetros fisicoquímicos: **temperatura ambiental, temperatura del agua, pH, sólidos disueltos (SD) y conductividad eléctrica (CE).**

La temperatura del agua se mantuvo en un rango óptimo para el cultivo de tilapia (24–30 °C). A pesar de ligeras variaciones, la estabilidad térmica favorece el metabolismo, crecimiento y alimentación de los peces. El ligero descenso en agosto no representa un riesgo, pero sugiere la importancia de continuar el monitoreo ante posibles cambios bruscos para que se pueda llegar a actuar en caso de ser necesario y poder mitigar algún efecto no deseado.

Con respecto al pH mostró un ligero aumento sostenido, manteniéndose en un rango alcalino, para la tilapia, un pH entre 6.0 y 9.0 es aceptable. Valores mayores a 8.5 pueden deberse a procesos de fotosíntesis (activación de fitoplancton) o acumulación de bicarbonatos, aunque no fue un nivel de alarma, se tomaron medidas como el recambio de agua (Saavedra, 2006).

Tanto los sólidos disueltos como la conductividad eléctrica mostraron un aumento gradual, esta relación es esperable, ya que la conductividad refleja la cantidad de iones en el agua, si bien los niveles están dentro del rango (-2,000 µS/cm), un aumento continuo puede indicar **acumulación de sales, alimento no consumidos o materia orgánica.**

A lo largo del ciclo de cultivo se registró una disminución en el número de organismos, atribuida a factores de mortalidad propios del sistema. No obstante, los resultados obtenidos

en talla y peso, alcanzando en la cosecha un promedio de 40 cm a 400 gramos. Estos hallazgos permiten concluir que, pese a la reducción en la población, las condiciones de manejo implementadas favorecieron el desarrollo de los ejemplares, lo cual fue documentado en la bitácora de datos.

7. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos a lo largo de los cuatro meses de monitoreo demuestran que las condiciones fisicoquímicas del agua se mantuvieron dentro de los rangos aceptables para el cultivo de tilapia. Variables como la temperatura del agua, el pH, los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica presentaron variables leves y naturales, sin representar riesgos significativos para el desarrollo de la especie.

El comportamiento de los parámetros evaluados mostró una tendencia estable y predecible, lo cual es favorable para sistemas artesanales, donde los recursos y mecanismos de control suelen ser limitados, a pesar de un ligero incremento en los niveles de pH, SD y CE, estos valores se mantuvieron dentro de los márgenes tolerables, sin afectar la calidad del ambiente acuático.

El criadero demostró ser viable y funcional, ya que cumplió con las condiciones necesarias para el crecimiento adecuado de la tilapia y de cada uno de los objetivos planteados al inicio del proyecto. Se logró mantener un entorno controlado, saludable y productivo, lo que valida la eficiencia del manejo aplicado, incluyendo la alimentación, recambio de agua y control de residuos.

Además, el desarrollo del sistema permitió adquirir experiencia práctica sobre el monitoreo de parámetros clave, lo cual es esencial para garantizar el éxito de futuras producciones. El presente trabajo no solo valida la factibilidad técnica del criadero artesanal, sino que también refuerza su potencial como modelo sostenible y replicable para pequeños productores interesados en la acuicultura a baja escala.

8. REFERENCIAS

Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Nader, M.M. et al. Efecto de los factores ambientales sobre el rendimiento del crecimiento de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Int J Biometeorol* 66, 2183–2194 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>

Arcos Guzmán, I. (2011). Cultivo de tilapia en México. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/12908/FMVZ-L-2011-0455.pdf?sequence=1

Ayuntamiento del Municipio de Tuxtla Gutiérrez. (2022, enero 19). Plan Municipal de Desarrollo 2021–2024 [Documento aprobado en sesión de Cabildo]. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Recuperado de <https://nvinoticiaschiapas.com/chiapas/tuxtla-gtz/19/01/2022/10432/>

Baltazar, P. M. (2007). La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Revista peruana de biología*, 13(3), 267–273. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1727-99332007000100022

Bautista Covarrubias, J. C., & Velazco Arce, J. M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia. (8), 10-14. Obtenido de <http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/568/1/Calidad%20de%20agua%20para%20el%20cultivo%20de%20Tilapia.pdf>

Bonilla, B. M. (2018). Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de Tilapia (*Oreochromis* sp). *Teknos Revista Científica*, 18(1), 24-30.

CEIEG. (2020). <https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/info-estadistica>

Celaya Tentori, M., & Almaraz Alvarado, A. (2018). Recuento histórico de la normatividad pesquera en México: un largo proceso de auge y crisis. *Entreciencias diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 6(16). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2018.16.63208>

Cómo desinfectar y potabilizar agua de pozo | tratamiento y filtros. (2023). Obtenido de Carbotecnia: <https://www.carbotecnia.info/como-desinfectar-y-potabilizar-agua-de-pozo-tratamiento-y->

filtros/#:~:text=La%20cloraci%C3%B3n%20es%20un%20proceso,del%20pozo%20y%20par a%20desinfecci%C3%B3n.

CONAGUA. Servicio Meteorológico Nacional. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL07165.TXT>

De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (Acuicultura, producción y conservación de organismos acuáticos. Gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-produccion-y-conservacion-de-organismos-acuaticos>

De Agricultura y Desarrollo Rural, S. Sumérgete en el sabor de la tilapia-mojarra. Gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/tilapia-para-cuaresma>

Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018 Presentación de resultados. (2018). https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ensanut/2018/doc/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf

Eugenia, S. R. N., Yesid, C. E., & Escobar, J. C. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019

Garzón Guerra, E., & Acuña Beltrán, L. F. (2016). Integración de los proyectos transversales al currículo: una propuesta para enseñar ciudadanía en ciclo inicial. *Actualidades investigativas en educación*, 16(3). <https://doi.org/10.15517/aie.v16i3.26065>

Informe mundial sobre las crisis alimentarias: En 2022, el número de personas en situación de inseguridad alimentaria aguda aumentó hasta los 258 millones en 58 países.(2023,marzo5).Newsroom;FAO.<https://www.fao.org/newsroom/detail/global-report-on-food-crises-GRFC-2023-GNAFC-fao-wfp-unicef-ifpri/es>

Nicovita. (2022). Manual de crianza de tilapia. Obtenido de <https://www.digepesca.sag.gob.hn/2022/09/09/manual-de-crianza-de-tilapia-nicovita/>

NORMA Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. (2022). Dof.gob.mx. <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4295/salud2a/salud2a.htm>

Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á., & Godínez-Siordia, D. E. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta universitaria*, 27(5), 19–25. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1231>

Perez, M. T., & Robledillo, J. M. M. (1989). Piscicultura en jaulas flotantes. *Madrid: Hojas Divulgadoras. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Dirección General de Investigación y Capacitación Agrarias, Servicio de Extensión Agraria.*

Plazas Pemberthy, L. A., & Paz Ruiz, N. E. (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 del Cauca. *Publicaciones E Investigación*, 13(2), 11-22. <https://doi.org/10.22490/25394088.3255>

Saavedra, M. (2006). Manejo del Cultivo de Tilapia. Managua Nicaragua. USAID, University of Rhode Island, University of Hawaii and CIDEA, USA. 22 p.

Sur, E., De, D., Tesis, M., Para, Q., El, O., & De, T. (n.d.). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC EXTENSIÓN TEJUPILCO RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE TILAPIA (*Oreochromis Niloticus*) EN P R E S E N T A: MAYRA ÁVILA ANTONIO. Retrieved September 5, 2024, from <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65275/RENTABILIDAD%20DEL%20CULTIVO%20DE%20TILAPIA%20%28Oreochromis%20Niloticus%29%20EN%20EL%20SUR%20DEL%20ESTADO%20DE%20M%c3%89XICO-split-merge.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Wang, B., Thompson, K. D., Wangkahart, E., Yamkasem, J., Bondad-Reantaso, M. G., Tattiyapong, P., Jian, J., & Surachetpong, W. (2022). Strategies to enhance tilapia immunity to improve their health in aquaculture. *Reviews In Aquaculture*, 15(S1), 41-56. <https://doi.org/10.1111/raq.12731>

9. ANEXOS

9.1. PLAN DE MANEJO

9.1.1. INTRODUCCIÓN

Tilapia es el nombre común con el cual se conocen a diversas especies de los géneros *Oreochromis* y *Tilapia* (Baltazar, 2007). Las Tilapias son peces de agua dulce endémicos y originarios de África y el Cercano Oriente, aprovechando sus características y adaptabilidad, a comienzos del siglo XIX se inician las investigaciones para utilizarlas en la piscicultura rural, especialmente en el Congo Belga (actualmente Zaire) (Baltazar, 2007). A partir de 1924 se intensifica su cultivo en Kenia, sin embargo fue en el Extremo Oriente, en Malasia en donde se obtuvieron los mejores resultados y se iniciara su progresivo cultivo en diferentes partes del mundo (Baltazar, 2007). Han sido cultivados por más de 4000 años y es un alimento popular en muchas partes del mundo, particularmente en las regiones tropicales de África y Asia (Moreno *et al.*, 2000).

Un pez cultivado para su posterior comercialización debe crecer hasta un tamaño mínimo aceptable, en un periodo de crecimiento razonable (Moreno *et al.*, 2000). Es por esta razón que las tilapias se han introducido como cultivo extensivo (Moreno *et al.*, 2000). Resisten a muchas enfermedades, toleran bajas concentraciones de oxígeno y consume una gran variedad de alimentos (Mathew y Gapakaman 1992, como se citó en Moreno *et al.*, 2000). Después del arroz, los productos forestales, la leche y el trigo, los peces son el quinto producto agrícola más importante y el mayor recurso de proteína animal disponible para los humanos (Pérez Zapata, 2015). Proveen el 25% de la proteína animal en países desarrollados y más del 75% en los países en vías de desarrollo (Pérez Zapata, 2015).

Se estima que la producción mundial alcanzó valores de 473.000 tm, de los cuales el 85% de la producción es alcanzado por Asia (Castaldo 1995, como se citó en Moreno *et al.*, 2000). El cultivo de tilapia se ha ido expandiendo gradualmente alrededor del mundo desde 1970 (Vivanco *et al.*, 2009). En los Estados Unidos, Canadá, México y el Caribe es relativamente nuevo; inicia en la década de los sesenta a pequeña escala, principalmente con un propósito de subsistencia (Vivanco *et al.*, 2009).

El primer registro de producción de tilapia en México se da en 1970 (200 toneladas). Durante 1984- 2002, la producción se incrementó progresivamente a una tasa anual de 12.75% (Vivanco *et al.*, 2009). Para el 2006, la producción oficial reportada por la CONAPESCA fue de 70,823 toneladas, con un valor de 810,919,000 pesos (CONAPESCA, 2006: 24, como se citó en Vivanco *et al.*, 2009). La producción de tilapia representa la cuarta especie pesquera más importante en el país, actividad que ha crecido a un ritmo del 0.03% durante los últimos 12 años (periodo 2000-2012) (González *et al.*, 2016). Asimismo, representa la tercera especie más importante respecto al valor, la cual generó 1146.9 millones de pesos durante el 2011 (CONAPESCA 2011, como se citó en González *et al.*, 2016).

9.1.2. JUSTIFICACIÓN

El plan de manejo permite establecer medidas sobre el cuidado y alimentación de las tilapias, lo que puede resultar en una sostenibilidad ambiental, generando una buena producción y, por ende, mayores ganancias económicas.

9.1.3. MARCO TEÓRICO

La tilapia es un pez teleósteo, del orden Perciforme perteneciente a la familia *Cichlidae* Originario de África, habita la mayor parte de las regiones tropicales del mundo, donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento (Garduño 1998, como se citó en Arcos, 2011). Es un pez de buen sabor y rápido crecimiento, se puede cultivar en estanques y en jaulas, soporta altas densidades, resiste condiciones ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno, es capaz de utilizar la productividad primaria de los estanques, y puede ser manipulado genéticamente (Basurto 2008, como se citó en Arcos, 2011).

9.1.4. ALIMENTACIÓN

El género *Oreochromis* se caracteriza por su naturaleza omnívora, lo que implica una amplia gama de alimentos en su dieta. Desde vegetación macroscópica hasta algas unicelulares y bacterias, estos peces exhiben una notable diversidad en sus preferencias alimenticias. Sin embargo, su tendencia predominante apunta hacia el consumo de zooplancton (Saavedra, 2006). Esto refleja su adaptabilidad y capacidad para aprovechar recursos alimenticios diversos en su entorno acuático. Esta versatilidad en la alimentación permite a las especies de *Oreochromis* prosperar en una variedad de hábitats acuáticos, desde aguas dulces hasta saladas.

En situaciones donde el suministro de alimento natural en el estanque es insuficiente o incluso inexistente, es esencial recurrir a la provisión de alimentos manufacturados, conocidos como concentrados, para asegurar una dieta equilibrada y nutricionalmente completa para los peces. Estos concentrados están diseñados específicamente para contener todos los nutrientes esenciales y vitaminas necesarios para el crecimiento y la salud óptimos de los peces. Otra opción es complementar su dieta con alimentos vegetales. Esto puede incluir la introducción de vegetación fresca, como lechuga, espinacas, guisantes, entre otros, que proporcionan una fuente de fibra, vitaminas y minerales esenciales para los peces. La alimentación con vegetales frescos puede ayudar a satisfacer las necesidades nutricionales de los peces, especialmente en momentos en que el suministro de alimentos naturales o manufacturados es limitado. Además, la inclusión de alimentos vegetales en la dieta de los peces puede promover una mejor salud digestiva y contribuir a un crecimiento saludable.

9.1.5. CRECIMIENTO

Rápido crecimiento

Cuanto menos tiempo tarde la especie en alcanzar el tamaño de comercialización, menores serán los gastos correspondientes a la operación y por ende mayor el ingreso. La tilapia puede alcanzar pesos de 1 a 1.5 libras en un período de 6 a 9 meses, según el sistema de cultivo empleado.

De fácil manejo

Es una especie resistente al manipuleo, a las enfermedades y a factores físicos y/o químicos, igualmente al manejo del sistema productivo, encalamiento, fertilizaciones varias, muestreos, biometría, control de parámetros (pH, temperatura, oxígeno disuelto, visibilidad, amoníaco) y su regulación.

Incremento diario

El crecimiento de la tilapia y por ende la tasa de utilización del alimento depende de varios factores a menudo difíciles de controlar: cantidad de alimento, temperatura, densidad de siembra, estrés, disponibilidad de oxígeno, competencia con otros peces, etc. Una de las relaciones más importantes para el acuicultor es la que describe la dependencia entre el crecimiento y la cantidad de alimentos. Ración cero (ayuno): El crecimiento es negativo, es decir pierde peso.

Ración de mantenimiento:

El alimento apenas compensa la pérdida de peso, el pez no gana ni pierde peso.

- Ración máxima: A medida que aumentamos la ración de crecimiento también aumenta el crecimiento del pez, hasta llegar a un punto máximo por encima del cual no ganará más peso por mucho que le demos de comer.
- Ración óptima: Es el punto entre la ración de mantenimiento y la ración máxima en el que la relación, crecimiento/ración, es máxima, o al revés la relación ración/crecimiento (factor de conversión) es mínima. En este punto el pez crece con la máxima eficiencia, aunque crece menos que con la ración máxima.

Tasa de crecimiento:

Definido como el porcentaje en incremento de peso por día. La mayor tasa de crecimiento la presentan los machos de 6 a 8 meses. En un gráfico de línea plasmaremos cada 5 días el aumento de la tilapia en gramos. Tasa de crecimiento = T.C. $T.C = (\% \text{ día}) = (\text{Log de peso final} - \text{Log peso inicial}) \times 100 \text{ Número de días de cultivo.}$

Causas del canibalismo

En la naturaleza, muchos factores estimulan la ocurrencia de la conducta caníbal. Estos se pueden agrupar en dos categorías: endógena y exógena. La primera agrupa a los factores que están relacionados con la naturaleza del individuo (cuidado parental, diferencias de tamaño).

Las especies piscívoras tienen adaptaciones para la predación que les facilita la detección y captura de pece. La categoría exógena agrupa los factores ambientales que estimulan el canibalismo, entre estos han sido reportados: disponibilidad del alimento, frecuencia de alimentación, densidad poblacional, ausencia de refugios, intensidad de la luz, turbidez.

Debido a que el canibalismo es una conducta adaptativa en condiciones de escasez de alimento, en la larvicultura la principal causa está asociada con la disponibilidad del alimento, la cual está definida por la frecuencia de alimentación, así como por la distribución y tamaño del alimento. Se ha demostrado que el canibalismo como otras conductas (territorialidad) puede ser controlado por la disponibilidad del alimento.

9.1.6. MONITOREO

Condición físico-químicas de las tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Temperatura

La principal fuente de energía calórica en el estanque es el sol, es absorbida por el agua y se convierte en calor, por consiguiente cualquier factor que influya sobre la penetración de los rayos solares, afectará el calentamiento del agua, lo cual causará diferencias térmicas entre los estanques en un mismo sitio y a su vez afectará la composición del plancton, la distribución de los organismos en la columna de agua y la productividad del estanque: Además, en estanques poco profundos no se presentan diferencias marcadas de temperatura en la columna de agua, debido a que la brisa puede mezclar el agua y distribuir la temperatura absorbida. En cambio, en los grandes lagos existe una gran diferencia entre la temperatura superficial del agua y la profunda (Noguez *et al.*, 2013).

Los peces son organismos poiquiloterms cuya temperatura corporal depende del medio en que viven. Por ello, la temperatura es la variable más importante y determinante para el cultivo, y a su vez la más difícil de controlar, **el rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28 y 32°C** (Poot *et al.*, 2009, como se citó en Noguez *et al.*). Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica, y, por ende, mayor consumo de oxígeno. Alamilla, 2002 (Noguez *et al.*), menciona que el rango óptimo oscila entre los 25 y 35°C, mientras que la FAO (2012) menciona crecimiento óptimo se alcanza a 28-36 °C y disminuye conforme baja la temperatura.

La intolerancia de la tilapia a bajas temperaturas es un problema serio para su cultivo e incluso si la temperatura del agua está por encima de los límites letales, no conduce a la mortalidad directa, esto conduce a la susceptibilidad de aparición de hongos e infecciones. La tilapia no puede crecer muy por debajo de 16°C y no pueden sobrevivir más de unos pocos días por debajo de 10°C, los valores de temperatura preferidos están entre 20 y 35°C y dejan de consumir alimento cuando la temperatura de 16-17°C.

El aumento de temperatura disminuye la concentración de oxígeno, y con pH básico, favorecen que el amoníaco se encuentre en su forma tóxica, el consumo de oxígeno causado

por la descomposición de la materia orgánica, se incrementa en la medida que aumenta la temperatura (Lim y Webster, 2006, como se citó en Noguez *et al*).

Oxígeno

(Bautista & Velazco, 2011) Durante la época seca, el caudal de un río disminuye, por lo que también lo hace la cantidad total de oxígeno disponible y, por tanto, el consumo de este por los seres vivientes acuáticos aumenta por unidad de volumen, asimismo la temperatura influye en relación inversa con el oxígeno. En el cultivo es recomendable que la cantidad de oxígeno no sea menor a 5 ppm.

9.1.7. RANGO PARAMETROS

Factores para la selección de la especie a cultivar

Dentro de las principales características que se deben tener en cuenta para la elección de la especie a cultivar (Manual de crianza de tilapia Nicovita, 2022):

El género *Oreochromis* es una excelente opción para cultivo debido a su rápido crecimiento y adaptación a dietas suplementarias, lo que facilita el uso de alimentos balanceados para mejorar el rendimiento. Además, tolera altas densidades de siembra y condiciones adversas como bajos niveles de oxígeno, altos niveles de amonio y pH bajo, lo que permite su cultivo en ambientes variables y con costos reducidos.

Su manejo es sencillo, ya que resiste bien el manipuleo durante la siembra, transferencias y cosechas. También puede alcanzar tamaños comerciales antes de llegar a la madurez sexual, lo que permite realizar cosechas a los 8 meses, mientras que la madurez sexual ocurre después de los 3 meses, dependiendo de la pureza genética de la línea.

TABLA 5. BIOLOGÍA DE LA ESPECIE

Hábitat	Familia	Nombre Científico	Nombre Común
Aguas cálidas	Cichlidae	<i>Oreochromis aureus</i> .	Tilapia plateada.
25° C a 34 °		<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilapia plateada.
Aguas lénticas		<i>Oreochromis sp.</i>	Tilapia roja.

Fuente: (Manual de crianza de tilapia Nicovita, 2022).

Características reproductivas y de cultivo de la especie

Los peces de esta especie presentan un rango de peso adulto que varía entre 1.000 y 3.000 gramos. La madurez sexual se alcanza a temprana edad, siendo los machos capaces de reproducirse entre los 4 y 6 meses, mientras que las hembras lo hacen entre los 3 y 5 meses de vida. Durante el año, las hembras pueden realizar entre 5 y 8 desoves, siempre que se mantengan en condiciones óptimas.

El proceso reproductivo se ve favorecido por temperaturas del agua entre 25°C y 31°C. En cada desove, una hembra puede producir desde más de 100 hasta un promedio de 1.500 huevos, dependiendo de su tamaño, edad y estado general. La incubación es de tipo bucal, y su duración varía entre 3 y 6 días.

Los reproductores tienen una vida útil de 2 a 3 años, y la proporción recomendada para su siembra es de 1.5 a 2 machos por cada 3 hembras. En cuanto al cultivo, bajo buenas condiciones como temperaturas estables, adecuada densidad de siembra y manejo técnico apropiado el tiempo necesario para alcanzar el peso comercial de aproximadamente 300 gramos es de 7 a 8 meses.

Condiciones y parámetros de cultivo

TABLA 6. EFECTOS DEL NIVEL DE OXÍGENO DISUELTO

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

Fuente: (Manual de crianza de tilapia Nicovita, 2022).

De acuerdo con el Manual de crianza de tilapia Nicovita (2022), la disminución del oxígeno en el agua se debe a diversos factores, entre ellos destacan la descomposición de materia orgánica proveniente de alimento no consumido, heces y animales muertos, así como el aumento de la masa metabólica ocasionando por las variaciones de temperatura entre el día y la noche. A esto se suman la respiración del plancton, la desgasificación natural, la nubosidad, que limita la producción de oxígeno y la densidad de siembra, que incrementa el consumo del mismo recurso.

La tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto (1,0 mg/l), pero esto provoca efecto de estrés, siendo la principal causa de origen de infecciones patológicas. Para mantener un cultivo exitoso de tilapia, los valores de oxígeno disuelto deberían estar por encima de los 4 mg/L, el cual debería ser medido en la estructura de salida del estanque (desagüe). Valores menores al indicado, reducen el crecimiento e incrementa la mortalidad (Manual de crianza de tilapia Nicovita, 2022).

El oxígeno disuelto (OD) es fundamental para el cultivo de tilapia, ya que niveles bajos pueden reducir el crecimiento, causar inapetencia y letargia, afectar a las branquias, disminuir la inmunidad y reducir la capacidad reproductiva de los peces.

Tipos de aireación

- Natural: caídas de agua, escaleras, chorros, cascadas, sistemas de abanico
- Mecánica: Motobombas, difusores, aireadores de paletas, aireadores de inyección de O₂, generadores de oxígeno líquido.

Una buena aireación permite incrementar las densidades de siembra hasta un 30% y manejar densidades más altas por unidad de área, como en el caso del cultivo en jaulas. Se obtiene buenos rendimientos (crecimiento, conversión alimenticia, incremento de peso y menor mortalidad) y compensa los consumos de oxígeno demandados en la degradación de la materia orgánica, manteniendo niveles más constantes dentro del cuerpo de agua y elimina los gases tóxicos.

Temperatura

Los peces son animales poiquiloterms (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura).

El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28°C y 32°C, aunque ésta puede continuarse con una variación de hasta 5°C por debajo de este rango óptimo. Es por esto que los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, pero, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica y, por ende, mayor consumo de oxígeno. El efecto negativo sobre el crecimiento del pez cultivado, que pudiera originar las variaciones grandes de temperatura entre el día y la noche, podría subsanarse con el suministro de alimentos con porcentajes altos de proteína (30%, 32%, etc.)

Dureza

Es la medida de la concentración de los iones de Ca y Mg expresados en ppm de su equivalente a Carbonato de calcio, la dureza del agua es un parámetro fundamental en el cultivo de tilapia, ya que influye en la reproducción y el desarrollo de la especie. Se considera que existen aguas blandas cuando los valores son menores a 100 ppm y aguas duras cuando superan este nivel. El rango óptimo para el cultivo se encuentra entre 50 y 350 ppm de CaCO_3 , mientras que la alcalinidad, directamente relacionada con la dureza debe mantenerse entre 100 y 200 ppm. Valores de dureza por debajo de 20 ppm generan problemas de fecundidad, reduciendo la eficiencia reproductiva y afectando la viabilidad del cultivo (Nicovita, 2022).

pH

El pH óptimo para el cultivo de tilapia debe mantenerse entre 6.5 y 9.0, cuando los valores se encuentran fuera de ese rango, los peces pueden presentar cambios de comportamientos como letargia, inapetencia, retraso en el crecimiento y disminución en la producción. En condiciones de pH ácido, ion ferroso (Fe^{++}) se vuelve soluble, lo que daña las células de los arcos branquiales y reduce los procesos de respiración, pudiendo ocasionar anoxia y la muerte de los organismos (Nicovita, 2022).

El pH en el agua fluctúa en un ciclo diurno, principalmente influenciada por la concentración de CO_2 , por la densidad del fitoplancton, la alcalinidad total y la dureza del agua.

Amonio

Es un producto de la excreción, orina de los peces y descomposición de la materia (degradación de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido). El amonio no ionizado (forma gaseosa) y primer producto de excreción de los peces, es un elemento tóxico.

Tratamiento de agua

El proceso de tratamiento del agua de pozo consiste en eliminar del agua los parámetros que afectan a la salud o a uso específico que requiera un proceso o equipo. Analizar la calidad del agua y del terreno, además de color, olor, turbiedad, pH, residuo fijo, conductividad, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, sulfato, nitrato, nitrito, amonio, cloro residual, oxidabilidad y la dureza del agua, es una medida de la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua (se mide en ppm).

Temperatura del agua

La temperatura afecta tanto al sabor como al olor, cuanto más frío haga en el exterior, más probable será que note una diferencia en el sabor debido a que las temperaturas más bajas provocan la congelación en el interior de las tuberías que transportan el agua caliente y fría por toda su casa o edificio comercial.

Desinfección de agua de pozo

Cloración

La cloración es un proceso químico que utiliza cloro para desinfectar el agua. En este proceso, se añade una pequeña cantidad de cloro al agua del pozo y se deja reposar durante al menos 30 minutos antes de utilizarla. De este modo, se eliminan las bacterias del pozo y para desinfección.

Dióxido de cloro

La efectividad de la desinfección con dióxido de cloro se debe a su capacidad para reaccionar con las proteínas y otros componentes celulares de los microorganismos, causando su inactivación o muerte. Además, el dióxido de cloro también puede oxidar los compuestos orgánicos presentes en el agua, lo que ayuda a eliminar algunos sabores y olores desagradables.

Ozono

Además de ser efectivo para la eliminación de microorganismos, el ozono también ayuda a eliminar compuestos orgánicos, incluyendo sabores y olores desagradables, compuestos orgánicos y químicos, y metales pesados. Otra ventaja del ozono es que no deja residuos químicos tóxicos en el agua tratada, ya que se descompone después de unas horas en oxígeno después de su uso.

Luz ultravioleta UV

La efectividad de la desinfección con luz UV depende de varios factores, como la calidad del agua, la cantidad de microorganismos presentes y la intensidad y duración de la exposición a la luz UV. Por lo tanto, es importante utilizar la dosis adecuada de luz UV para asegurar que los microorganismos se inactiven de manera efectiva. Además, la luz UV no altera el sabor, el olor ni el color del agua, y es efectiva contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo

bacterias, virus y protozoos. Pero al no dejar un residual, el agua podría volver a tener una recontaminación después del tratamiento.

Filtro de sedimentos de lecho profundo

La principal ventaja de los filtros de lecho profundo sobre otros tipos de sistemas es que eliminan los sedimentos antes de que entren en las tuberías. Como resultado, que también protege a los pasos posteriores de sedimentos que pueden afectar a los equipos de carbón activado y suavizador. Además, suelen ser más fáciles de mantener que otros tipos de sistemas, ya que utilizan menos productos químicos.

Tratamiento con carbón activado

Los sistemas de carbón activado eliminan sabores, olores y colores orgánicos indeseables del agua. El carbón activado es uno de los purificantes más usados y económicos que existen, al igual que el filtro de lecho profundo requiere un lavado a contracorriente regular para expulsar algunos sólidos retenidos, pero sobre todo para descomprimir la cama de carbón y que no se petrifique.

Descalcificación o suavización de agua dura

El ablandamiento del agua dura es un proceso que elimina estos minerales que causan las incrustaciones del suministro de agua antes de que entre en el sistema de tuberías. El suavizador de agua, es un sistema completo en el que toda el agua se pasa por este sistema antes de ingrese al para ser distribuido o utilizado (esto se llama tratamiento del agua dura).

Ósmosis inversa para agua salobre

La ósmosis inversa funciona aplicando presión a ambos lados de una membrana semipermeable, forzando el paso del líquido puro y rechazando las moléculas o partículas más grandes que no se disuelven en la solución. El producto resultante se denomina “permeado” y contiene la mayor parte de la materia disuelta del agua bruta, pero ninguna de sus impurezas o contaminantes, como bacterias o virus.

9.1.8. HISTOGRAMA (LLUVIA-ESTIAJE)

En este reporte se representa un análisis detallado de los datos climatológicos obtenidos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y su integración en la gestión de un criadero de tilapias. Se enfoca en como las variaciones en temperatura y precipitación pueden influir en la productividad y sostenibilidad del criadero.

La acuicultura de Tilapias es una práctica en expansión globalmente. Las condiciones climáticas juegan un papel importante en la eficiencia del criadero, este estudio ayuda analizar los datos climatológicos históricos en el rango de 59 años de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, y se correlacionaron con el criadero de tilapias para garantizar la sostenibilidad de este proyecto.

Las temperaturas de las zonas es un aspecto que incide en la temperatura del agua y en un factor limitante para el desarrollo de las tilapias, los peses aletargan su metabolismo ante bajas temperaturas afectando sus procesos fisiológicos. La temperatura del agua entre 25-30°C son considerados como optimas, pueden soportar temperaturas menores. Las temperaturas menores de 15°C no crecen. La reproducción se da con éxito a temperaturas entre 26-29°C. los limites superiores de tolerancia oscilan entre 36-42°C (Bonilla, 2018).

En la siguiente tabla 1, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), muestra las mediciones climáticas, destacando las temperaturas máximas, medias y mínimas, así como los registros de precipitación mensual y anual, cada columna representa un mes del año, desde enero hasta diciembre.

La Temperatura máxima normal se observa que la temperatura promedio más alta normal fluctúa a lo largo del año, con un pico en los meses de verano. La temperatura máxima normal en enero es de 28°C, aumentando gradualmente hasta alcanzar 35.6°C en abril, que suele ser el mes más cálido, en la sección máxima mensual se muestran las temperaturas máximas mensuales registrada, proporcionando una diferencia sobre los extremos climáticos posibles, en mayo se pudo registrar una temperatura máxima de 37.1°C.

En el año de máxima indica el año en que se observaron estas temperaturas extremas. La mínima del día refleja la temperatura más baja registrada en un día específico, ofreciendo una visión de las variaciones diurnas extremas. La temperatura más baja fue de 18°C, por

consiguiente, la fecha máxima proporciona la fecha exacta en el que se alcanzó la temperatura máxima mensual, la que es útil para correlacionar los eventos climáticos específicos.

Por otro lado, la precipitación de los datos se presenta en términos de valores normales y máximos, junto con la frecuencia de años considerados para el promedio, esto es esencial para entender la distribución de lluvias y su impacto en la ciudad. En términos generales esta información es útil para identificar los patrones climáticos, para planificarlo en la actividad de criadero de tilapias y así comprender las variaciones estacionales de la ciudad.

TABLA 7. ANÁLISIS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS ANUALES Y MENSUALES. (1951-2010)

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	29,8	31,5	33,9	35,6	35,4	32,8	32	32,1	31,3	30,7	30,4	29,7	32,1
MAXIMA MENSUAL	32,5	33,7	37,1	37,6	38,5	36,2	34	33,4	33	32,9	32,9	32,2	
AÑO DE MAXIMA	1980	1998	1980	1984	1980	1998	1980	1980	2009	1980	1994	1994	
MAXIMA DIARIA	37,6	40,1	42	42	41,7	41,2	36,6	36,5	39	37,5	38,8	36,6	
FECHA MAXIMA DIARIA	27/1995	15/1995	28/1980	24/2010	20/1988	004/1993	21/1995	009/1997	010/1983	16/1984	14/1989	20/2008	
AÑOS CON DATOS	31	31	31	31	30	30	31	30	30	30	30	30	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	23	24	26,1	28,2	28,7	27,2	26,4	26,5	26,1	25,5	24,4	23,3	25,5
AÑOS CON DATOS	31	31	31	31	30	30	31	30	30	30	30	30	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	16,2	17	18,4	20,7	21,9	21,5	20,9	20,9	20,9	20,2	18,5	16,9	19,5
MINIMA MENSUAL	13,8	15,5	15,6	18,7	20,9	20,1	19,7	19,5	19,8	18,6	16,1	14,8	
AÑO DE MINIMA	1987	1989	1989	1987	1989	1984	1985	1985	1985	1987	1984	1980	
MINIMA DIARIA	7,1	9,8	9,9	11,3	15	17,5	14,3	17,2	16,8	13	10	9,5	
FECHA MINIMA DIARIA	29/1986	27/1989	01/01/1984	#####	20/1980	01/02/1986	19/1989	01/02/1992	19/2008	17/1981	01/10/1981	19/1980	
AÑOS CON DATOS	31	31	31	31	30	30	31	30	30	30	30	30	
PRECIPITACION													
NORMAL	0,9	2,6	3,2	12,3	82,4	217,2	176,1	186	190,8	65,6	14,5	2,9	954,5
MINIMA MENSUAL	7,8	38	42,7	97,7	247,5	350,4	359,1	426,7	454	275,9	153	14,6	
AÑO DE MAXIMA	1980	1983	1983	1996	2000	1993	2008	1995	1984	2007	1983	1999	
MAXIMA DIARIA	4,5	37,7	27,3	62,2	104,6	104,7	84,5	79,9	148,1	85,3	40,7	13,6	
FECHA MAXIMA DIARIA	20/1980	16/2000	14/1983	18/1996	29/1986	27/2010	27/2010	01/09/1983	01/01/1984	01/06/2003	01/08/1997	21/1999	
AÑOS CON DATOS	31	31	31	31	30	30	31	30	30	30	30	30	

Fuente: (CONAGUA).

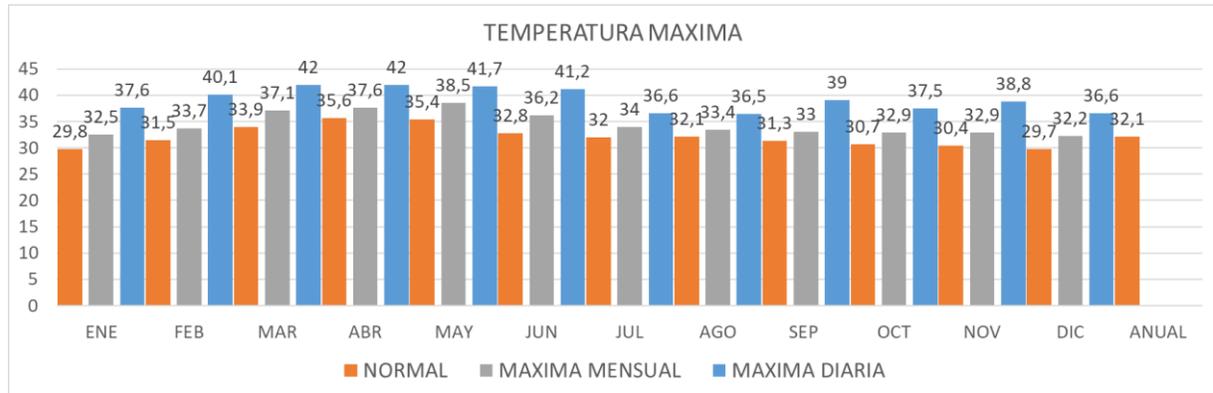
En relación con los datos de la tabla 7, se realizaron las siguientes gráficas, Permitiendo una fácil visualización de las diferencias entre las temperaturas y precipitación.

La figura 20 ilustra la gráfica de las variaciones de la temperatura máxima en un ciclo anual, diferenciando entre los valores normales, los picos mensuales y los registros diarios más altos.

Las barras normales representan la temperatura máxima normal esperada para cada mes. Sirve como una línea de bases para comparar con las temperaturas extremas. Las barras máximas mensuales, indican las temperaturas máximas registrada, lo que refleja los extremos que se han alcanzado en el pasado durante ese mes en específico. Las barras máximas diaria, representan las temperaturas registradas, proporcionando una idea de los picos de calor que pueden ocurrir en un día dentro de cada mes.

Por lo tanto, en la escala de temperatura muestra un rango de temperatura desde aproximadamente 29°C hasta 42°C, lo que nos permite una mejor visualización de la diferencia de normales y extremas. En cuanto a las variaciones estacionales se pueden observar las temperaturas más altas registradas durante los meses de invierno.

FIGURA 20. GRÁFICA DE TEMPERATURA MÁXIMA: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL



Fuente: (CONAGUA).

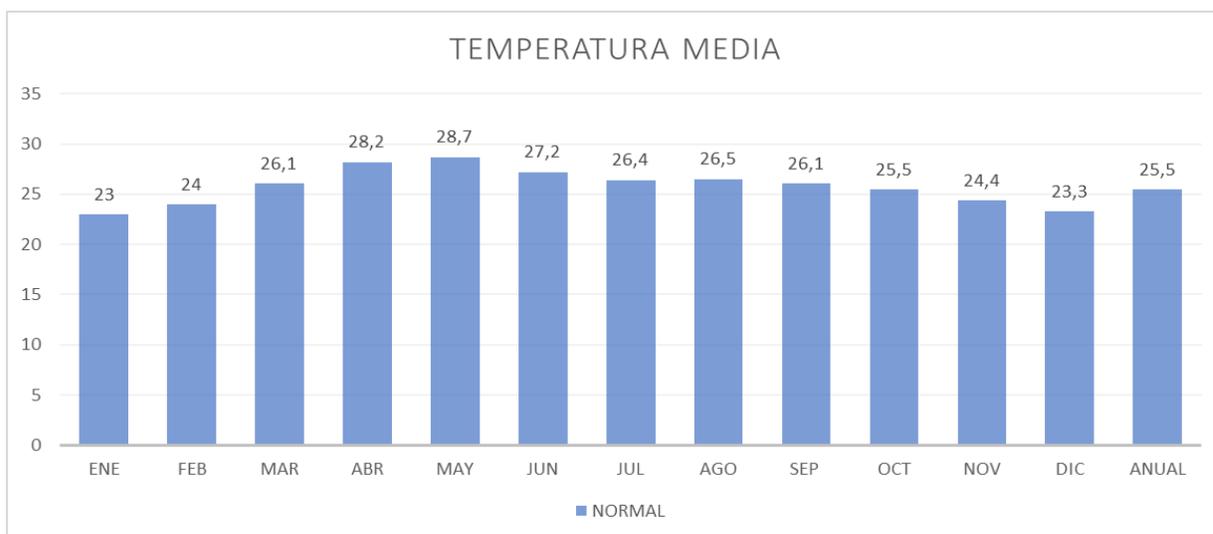
En cuanto a la figura 21 ilustra la gráfica proporciona una representación visual de la temperatura media a lo largo de los meses del año, desde enero hasta diciembre, y concluye con un promedio anual. Cada barra corresponde a la temperatura media de un mes específico. Las barras permiten una comparación rápida entre los diferentes meses, mostrando como cambia la temperatura media a lo largo del año.

Sobre cada barra, se indican los valores numéricos de la temperatura media, que varían desde 23°C en los meses más fríos hasta 28.7°C en los más cálidos. La escala de temperatura muestra un rango que va desde aproximadamente 23°C hasta los 28°C, lo que refleja variaciones estacionales típicas de la ciudad.

Así mismo la gráfica muestra la tendencia estacional, con temperaturas más altas en los meses de verano y más bajas en los meses de invierno.

En términos generales esta grafica es útil para identificar los patrones climáticos, para planificarlo en la actividad de criadero de tilapias y así comprender las variaciones estacionales de la ciudad.

FIGURA 21. GRÁFICA DE TEMPERATURA MEDIA: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL



Fuente: (CONAGUA).

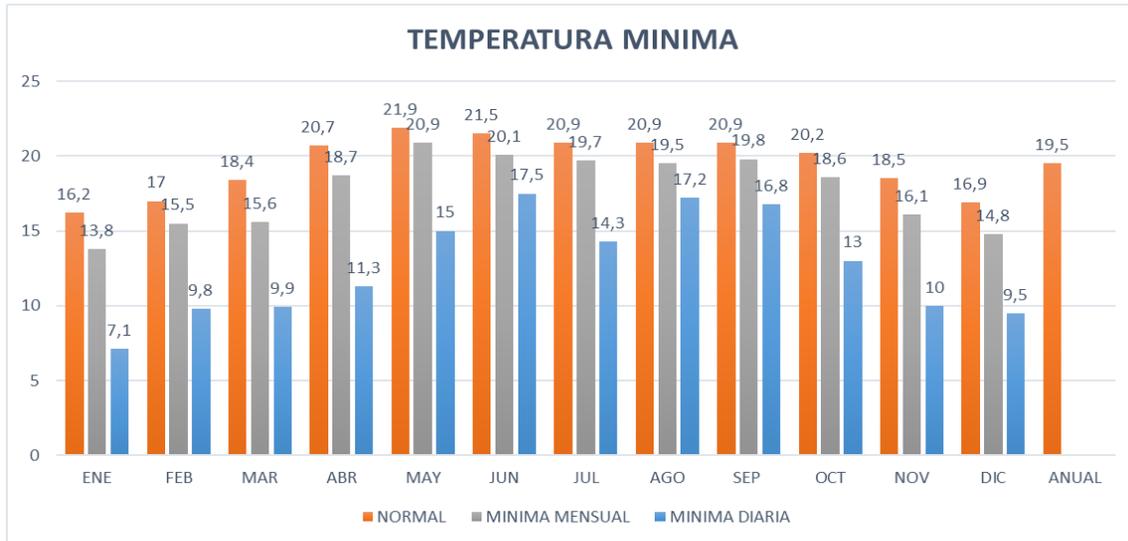
Por otra parte, la figura 22 nos proporciona una gráfica de la representación visual de las temperaturas mínimas registradas a lo largo de los meses del año, desde el mes de enero hasta diciembre, y concluye con un promedio anual.

Las barras normales, representan la temperatura mínima esperada para cada mes establece una línea de bases para comparar con las temperaturas mínimas extremas. Las barras mínimas mensual, indican la temperatura que se ha registrado, mostrando los extremos que se han alcanzado en el pasado durante ese mes en específico.

Estas barras mínimas diaria, muestran la temperatura mínima que se tiene en el registro, determinando que los picos de frío pueden ocurrir en un día dentro de cada mes. La escala de temperatura muestra un rango de temperatura desde 0°C hasta 25°C, lo que demuestra las diferencias entre las temperaturas normales y extremas.

Sobre cada barra se indican los valores numéricos de la temperatura mínimas que varían en los meses más fríos y en los meses más cálidos. En cuanto a la variación estacional muestra la tendencia estacional, con temperaturas mínimas más bajas en los meses de invierno y más altas en los meses de verano. De igual manera la barra anual muestra el promedio de la temperatura a lo largo del año.

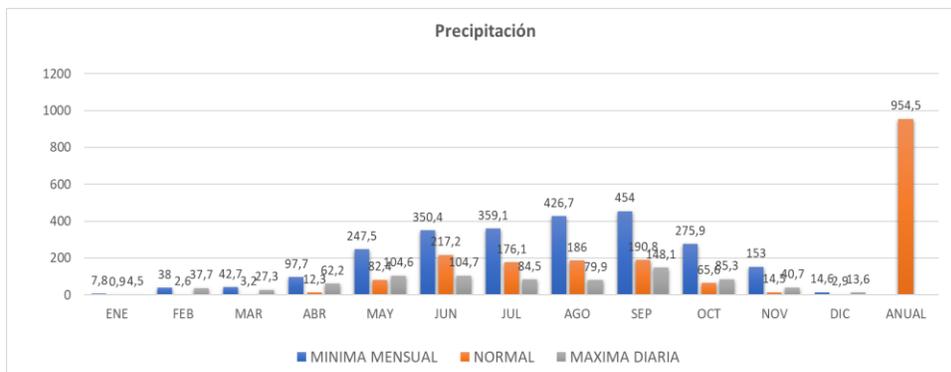
FIGURA 22. GRÁFICA DE TEMPERATURA MÍNIMA: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL



Fuente: (CONAGUA).

Para concluir la figura 23, nos ilustra la gráfica de las variaciones en los niveles de precipitación lo largo de los meses del año y proporciona una comparación entre las precipitaciones mínimas mensuales, normales y máximas diarias. Las barras mínimas mensual representan la cantidad mínima de lluvia que se espera en un mes. Asimismo, las barras normales indican los niveles de precipitación para cada mes. por ultimo las barras máximas diarias, muestran la cantidad de lluvia registrada en un solo día dentro de cada mes, en cuanto a la escala de precipitación muestra un rango de 0 hasta 1200, indicando la cantidad de precipitación en milímetros indica la tendencia estacional, con mayores niveles de precipitación en ciertos meses.

FIGURA 23. GRÁFICA DE PRECIPITACIÓN: ANÁLISIS MENSUAL Y ANUAL



Fuente: (CONAGUA).

Con los resultados obtenidos de los datos climatológicos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se puede llegar a la conclusión que la ciudad de Tuxtla Gutiérrez es apta para la crianza de tilapias, ya que la temperatura requerida para la supervivencia de estas mismas es de 35° a 36° C, tomando en cuenta estos datos, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez tiene un promedio de temperatura mínima de entre 17° a 18° C y un promedio de temperatura máxima entre 35° a 36° C.

9.1.9. COSTOS

Precio de la tilapia

Tilapia es el nombre común que de la especie perteneciente a la familia *Cichlidae*. Esta familia es una de las más ricas en especies de agua dulce en el mundo con al menos 1,300 especies y se ha llegado a estimar un total de 1,900 especies (Jullundur, 1998).

Desde el punto de vista comercial las tilapias más importantes son la Tilapia del Nilo, la tilapia mozambique y la tilapia azul. Así mismo, en México, la tilapia roja, ha comenzado a tomar mayor importancia para la venta en hoteles y restaurantes. Precios del producto: La tilapia chica se vende por un precio aproximado de \$35.00 MXN, máximo de \$38.00 MXN y mínimo de \$33.00 MXN este producto se vende por kg, mientras que la tilapia grande se vende por un precio aproximado de \$40.00 MXN, máximo de \$43.00 MXN y mínimo de \$38.00 MXN. (sostenible, 2018).

9.2. Anexo fotográfico



FIGURA 24. ACONDICIONAMIENTO DEL SITIO
Fuente: Álvarez, 2024.



FIGURA 25. COLOCACIÓN DE LA MALLA SOMBRA
Fuente: Álvarez, 2024.



FIGURA 26. ESTANQUE ACONDICIONADO PARA LA SIEMBRA
Fuente: Álvarez,



FIGURA 27. TALLA PROMEDIO EN EL MES DE ABRIL
Fuente: Álvarez, 2024.



FIGURA 28. MATERIALES PARA BAÑO DE INMERSIÓN EN SAL
Fuente: Álvarez,



FIGURA 29. REGISTRO DE TALLA Y PESO DURANTE LA COSECHA
Fuente: Álvarez, 2024.