

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**



Evaluación de diferentes densidades de siembra de tilapia  
(*Oreochromis niloticus*) en estanques artesanales de agua  
dulce en San Luis Talpa, La Paz.

**Por:**

Br. Amílcar Segundo Coreas Madrid  
Br. Josué Eduardo Gutiérrez Salguero

Ciudad Universitaria, julio de 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**



Evaluación de diferentes densidades de siembra de tilapia  
(*Oreochromis niloticus*) en estanques artesanales de agua  
dulce en San Luis Talpa, La Paz.

**Por:**

Br. Amílcar Segundo Coreas Madrid  
Br. Josué Eduardo Gutiérrez Salguero

Ciudad Universitaria, julio de 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**



Evaluación de diferentes densidades de siembra de tilapia  
(*Oreochromis niloticus*) en estanques artesanales de agua  
dulce en San Luis Talpa, La Paz.

**Por:**

Br. Amílcar Segundo Coreas Madrid  
Br. Josué Eduardo Gutiérrez Salguero

Requisito para optar al título de:  
**INGENIERO AGRONOMO**

Ciudad Universitaria, julio de 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL:**

M. Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

**SECRETARIO:**

Ing. Agr. BALMORE MARTINEZ SIERRA

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**

---

Ing. Agr. EDGAR MARROQUIN MENA

**DOCENTES DIRECTORES:**

---

Ing. M. Sc. EFRAIN ANTONIO RODRIGUEZ URRUTIA

---

Ing. M. Sc. JUAN MILTON FLORES TENSOS

**COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:**

---

Ing. Agr. ANA JUANA ELIZABETH VALDÉS DE SÁNCHEZ

## RESUMEN

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, en El Salvador, en el periodo de octubre 2019 a febrero 2020.

El objetivo fue evaluar diferentes densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un estanque artesanal que fue dividido en dos módulos, y cada módulo se dividió en dos jaulas que median 2.5 metros de ancho, 3 m de largo y 1.15 m de altura. El estanque se llenó con una columna de agua de 1.05 m de altura.

El estudio se realizó bajo el diseño Completo al azar; los tratamientos fueron: un testigo o tratamiento 0 (T0) en el cual se sembraron 5 tilapias/m<sup>3</sup> y se colocaron en total 38 alevines; en el tratamiento 1 se sembraron 10 tilapias/m<sup>3</sup>, se colocaron 75 alevines; en el tratamiento 2 se sembraron 15 tilapias/m<sup>3</sup> y se colocaron 113 alevines; y en el tratamiento 3 se sembraron 20 tilapias/m<sup>3</sup> colocando 150 alevines en total. Cada tratamiento tenía 5 repeticiones.

Los parámetros que se midieron fueron: peso (gr) y tamaño o talla (cm) de las tilapias, se realizó desde el día de la siembra hasta la cosecha. El intervalo de muestreo fue cada 14 días. Los parámetros físicos y químicos del agua se analizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, y los análisis microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Control de Calidad Microbiológico de Alimentos, Medicamentos y Aguas del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD) de la Universidad de El Salvador.

El mayor peso y tamaño promedio de los peces se obtuvo con una densidad de 5 tilapias/m<sup>3</sup> (Testigo o Tratamiento 0) con 1,206 g y 18 cm, respectivamente, a los 112 días (3 meses con 22 días) después de la siembra de los alevines.

**Palabras clave:** tilapia, *Oreochromis niloticus*, agua, estanque artesanal, alevines, densidad de siembra, El Salvador.

## **ABSTRACT**

The research was carried out at the Experimental and Practice Station of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, located in the Tecualuya canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, in El Salvador, in the period of October 2019 to February 2020.

The objective was to evaluate different stocking densities of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in an artisanal pond that was divided into two modules, and each module was divided into two cages that were 2.5 meters wide, 3 m long and 1.15 m high. The pond was filled with a 1.05 m high column of water.

The study was carried out under a randomized Complete design; The treatments were: a control or treatment 0 (T0) in which 5 tilapia / m<sup>3</sup> were sown and 38 fingerlings were placed in total; In treatment 1, 10 tilapia / m<sup>3</sup> were sown, 75 fingerlings were placed; In treatment 2, 15 tilapia / m<sup>3</sup> were sown and 113 fingerlings were placed; and in treatment 3, 20 tilapia / m<sup>3</sup> were planted, placing 150 fingerlings in total. Each treatment had 5 repetitions.

The parameters that were measured were: weight (gr) and size or size (cm) of the tilapias, it was carried out from the day of sowing to harvest. The sampling interval was every 14 days.

The physical and chemical parameters of the water were analyzed in the Laboratory of Agricultural Chemistry of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, and the microbiological analyzes were carried out in the Laboratory of Microbiological Quality Control of Food, Drugs and Waters of the Center. Research and Development in Health (CENSALUD) of the University of El Salvador.

The highest weight and average size of the fish was obtained with a density of 5 tilapia / m<sup>3</sup> (Control or Treatment 0) with 1.206 g and 18 cm, respectively, at 112 days (3 months and 22 days) after sowing the fish fry.

**Key Word:** tilapia, *Oreochromis niloticus*, water, artisanal pond, fingerlings, stocking density, El Salvador.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todo poderoso por haberme permitido finalizar con éxito mis estudios, sea toda gloria y alabanza a ti padre misericordioso.

A nuestros docentes asesores, Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. M. Sc. Juan Milton Flores Tensos por haber tenido la paciencia y el tiempo para orientarnos en el desarrollo de nuestra investigación.

A la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y al personal docente por haberme instruido en mi formación profesional, así como en la creación de criterios y valores éticos.

A la Estación Experimental y de Prácticas, en especial a los trabajadores del Taller de Maquinaria Agrícola, Joaquín Serrano, Carlos Moz, William Díaz, Alexander Mendoza, René Díaz, Don Porfirio Gálvez, Tanito Alvarado, a los encargados de especies menores Carlos López, Edis Valiente, Samuel Rivera, Don Jeovanny Contreras, Juan de Dios Chávez y Don Pedro Torres (Q.D.G.), por su amistad, apoyo incondicional y disposición de sus instalaciones, equipo y ayuda para llevar a cabo la investigación.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), por brindarnos financiamiento económico para llevar a cabo nuestra investigación.

A mi compañero de tesis Josué Eduardo Gutiérrez Salguero, por su paciencia, apoyo y amistad para hacer posible la realización de nuestra investigación.

A mi apreciada amiga Jennifer Juliana Escamilla, por su amistad incondicional y siempre motivarme a alcanzar el éxito.

A mi amiga de consejos infinitos Jaqueline Serrano, por empujarme a seguir adelante en momentos de angustia y desesperación para poder conquistar mis metas.

A mis compañeros y muy queridos amigos Juan Flores, Maximiliano López, Eduardo Morales, Alejandro Mencía, Kevin Monge, María José Marroquín, Kenny Orellana, Keily Melgar, Rafael

Santamaría, Saraí Cerón, Mauricio Avilés, Ricardo Chile, Daniel Candray, Eva Leiva, Julia Medina, Raquel Flores, Juan Carlos Sánchez, Helen Mejía.

Al apoyo económico brindado por parte del Consejo Municipal de Suchitoto, precedido por la Alcaldesa Pedrina Rivera, periodo 2015– 2018.

Al apoyo económico por parte de la Diputada Jaqueline Rivera, periodo 2015– 2018.

**Amílcar Segundo Coreas Madrid**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a la Virgen María por permitirme culminar mis estudios universitarios, ya que confié plenamente en que ellos siempre estuvieron velando mis pasos en esta etapa fundamental de mi vida.

A mis queridos padres, Rosa Alicia Salguero de Gutiérrez y Oscar Orlando Gutiérrez Guevara, por darme la oportunidad que ellos no tuvieron de estudiar y ayudarme incondicionalmente a obtener mi carrera universitaria, y por todo el apoyo económico y moral que me brindaron a lo largo de la carrera.

A mis hermanos Francisco, María del Tránsito, Esmeralda, Elvia, Oscar, Juan, Arnulfo, Delmy, Guadalupe, Marleny, Elizabeth y Joel Gutiérrez Salguero, porque si ahora estoy acá es también gracias a cada uno de ellos.

A Elizabeth Flores y sus hijas Verónica, Margarita y Yeni, que me ayudaron a lo largo de mi carrera y especialmente a mi novia Saraí Flores que siempre me acompañó, aconsejó y motivó para alcanzar este objetivo.

A mis asesores Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. M. Sc. Juan Milton Flores Tensos, a quienes admiro mucho por su profesionalidad y por confiar en nosotros y brindarnos el apoyo incondicional para la realización de esta investigación animándonos siempre a seguir adelante, además por compartir sus conocimientos con nosotros.

A la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y a su personal docente que apasionadamente colaboran en la formación de nuevos profesionales.

A mi compañero de tesis Amílcar Segundo Coreas Madrid, por su apoyo, amistad, paciencia y comprensión, y por decidir emprender esta investigación conmigo.

Al personal de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, con especial mención al área de Maquinaria agrícola a Carlos Moz, William Díaz y Joaquín Serrano, y en el área de especies menores a Carlos López, Edis Valiente y Samuel Rivera que nos apoyaron en los momentos oportunos.

A mis amigos y compañeros de estudio, Miguel Chacón, Isaac Hernández, Moris Huevo, Stiven, Ever, Erick, Carolina, Lidia, Chile, Jorgito, Daniel, Omar, Juan Carlos, Kevin, Rolando, Geovani, Vargas, Cano, Elvis, Saúl, Gerardo, Stanley, Rodrigo, Carlos, Rommel, con los que tuve el honor de intercambiar en más de una ocasión alegrías, tristezas, bromas, conocimientos, en fin una cantidad de experiencias que sin embargo forman parte de este nuevo logro, mencionar especialmente al Ing. Ever Martínez que sin dudar nos orientó en la parte estadística de nuestra investigación.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL), por el apoyo económico brindado para la realización de esta investigación.

**Josué Eduardo Gutiérrez Salguero**

## **DEDICATORIA**

A Dios todo poderoso por el inmenso amor que nos entrega y por la fuerza que me ha dado en esos momentos difíciles para seguir adelante por permitirme triunfar en la vida.

A mis padres María Clotilde Madrid Escalante y Manuel de Jesús Coreas Leiva que nunca me han dejado de la mano, que en todo momento he contado con su apoyo y su amor incondicional por ser unos padres ejemplares y criarme con principios éticos y morales, gracias.

A mis hermanos Manuel de Jesús, Nelsy Karen, Flor de María, Wilfredo y Milton Adiel por su amor, apoyo y por todos esos lindos momentos que hemos compartido y he contado con sus consejos, gracias.

A mi amada esposa Carmen Guadalupe Menjívar Rosales más adorados hijos Amílkar y la nueva integrante de familia que viene en camino que en todo momento puedo contar con su amor incondicional.

A mis primos Aquiles Coreas y Melkin Alvarenga que me tendieron la mano en momentos de crisis económica, para alcanzar mis metas, gracias.

A mi tía María Luisa Coreas y a su esposo Godofredo Mijangos, que me dieron posada en su humilde morada, permitiéndome estar cerca de la universidad, gracias.

A todos(as) mis amigos y compañeros que me han apoyado en los momentos más difíciles, ayudándome a seguir por el camino correcto, gracias.

**Amílcar Segundo Coreas Madrid**

## **DEDICATORIA**

A Dios todopoderoso y a la Virgen Santísima por acompañarme en esta etapa de mi camino, a ellos dedico este triunfo primeramente por prestarme vida, salud, fortaleza y velar por mí en cada instante, sé que ellos lo han permitido.

A mis padres Rosa Alicia y Oscar Orlando dedico este triunfo porque a pesar de las dificultades y sacrificios siempre creyeron en mí, y eso fue vital para terminar mi carrera, los amo y aprecio por ser esos pilares fundamentales en mi vida.

A mis hermanos, Francisco, María del Tránsito (de grata recordación), Esmeralda, Elvia, Oscar, Juan, Arnulfo, Delmy, Guadalupe, Marleny, Elizabeth y Joel Gutiérrez Salguero, este triunfo lo dedico a ustedes porque también lo merecieron, ya que solo la suma de todos sus esfuerzos y restricciones hicieron posible que yo lo consiguiera, ahora son parte del mismo.

A mis sobrinos, Isaac, Britany, Damián, Daniela, Michelle, Adán, Dilan, María José, Miqueas, José Daniel, Natalie, Nahomy, Caleb y los recién incorporados a la familia Omarcito, Karla Sofía y Gaelito, dedico este triunfo a ellos para que esta nueva generación aspire a más y nuevos logros académicos que seguro enorgullecerán a sus padres y demás familia.

A Raquel Saraí Cerón Flores dedico este triunfo porque me brindo su ayuda, ánimo, apoyo y más que eso, siempre me motivo a aspirar ser una mejor persona cada día. Sabes que te amo.

A mis abuelos maternos María Cruz Salguero y Domingo Romero, y paternos María Cruz Gutiérrez y Cruz Guevara, los cuales ya descansan, pero va dedicado a ustedes también porque son mis raíces y sé que este triunfo también les alegraría.

A mi cuñado y amigo Omar Neldelyí, a mi amigo Jorge Molina, que ya descansan en las manos de Dios, a ustedes que fueron personas muy especiales también dedico este triunfo su despedida fue tan dura y repentina pero así dejaron su mejor recuerdo en nuestra familia.

**Josué Eduardo Gutiérrez Salguero**

## INDICE GENERAL

	PAGINA
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA .....	x
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 REVISION BIBLIOGRAFICA .....	3
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	3
2.2 Manejo Integrado de Cuencas.....	3
2.3 Agua .....	4
2.4 Calidad del agua.....	4
2.4.1 Coliformes totales .....	5
2.4.2 Turbidez del agua .....	5
2.4.3 Temperatura del agua .....	6
2.4.4 Alcalinidad y dureza del agua .....	7
2.4.5 pH .....	8
2.4.6 Amonio .....	8
2.4.7 Nitratos y Nitritos .....	8
2.4.8 Sólidos en suspensión .....	9
2.4.9 Hierro.....	9
2.4.10 Conductividad eléctrica.....	10
2.4.11 Oxígeno Disuelto .....	10
2.4.12 Unidades de Oxígeno para tilapia .....	10
2.4.13 Demanda Bioquímica Oxígeno .....	11
2.4.14 Arsénico.....	11
2.4.15 Cobre.....	11
2.4.16 Plomo .....	11
2.4.17 Zinc .....	11
2.5 Tilapia .....	11
2.5.1 Clasificación taxonómica de la tilapia.....	12
2.5.2 Densidades de siembra .....	13
2.5.3 Hábitat .....	14
2.6 Producción y comercialización de Tilapia .....	14
2.6.1 Estanque .....	14
2.6.2 Suministro y siembra de alevines .....	15

2.6.3	Alimentación de tilapias .....	15
2.6.4	Cosecha.....	16
2.6.5	Precio comercial local de alevines de tilapia .....	17
3	MATERIALES Y METODOS .....	17
3.1	Ubicación de la Investigación .....	17
3.2	Metodología de campo .....	18
3.2.1	Preparación del estanque .....	18
3.2.2	Construcción de jaulas .....	19
3.2.3	Compra y transporte de alevines .....	20
3.2.4	Siembra de los alevines .....	21
3.2.5	Alimentación de los peces.....	22
3.2.6	Oxigenación del agua .....	23
3.3	Análisis físico, químico y microbiológico del agua. ....	24
3.3.1	Muestreo del agua para análisis físico y químico .....	24
3.3.2	Muestreo del agua para análisis microbiológico .....	26
3.4	Metodología de laboratorio .....	28
3.5	Metodología estadística.....	29
3.5.1	Toma de datos de los muestreos.....	31
3.6	Metodología económica .....	32
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	32
4.1	Peso de los peces (gr) .....	32
4.2	tamaño o Talla de los peces (cm) .....	35
4.3	Análisis físicos y químico del agua .....	37
4.3.1	Salinidad.....	37
4.3.2	Oxígeno disuelto.....	38
4.3.3	Solidos totales disueltos .....	38
4.3.4	Conductividad eléctrica.....	38
4.3.5	pH.....	39
4.3.6	Temperatura .....	39
4.3.7	Turbidez.....	39
4.4	Análisis de metales pesados del agua.....	41
4.4.1	Arsénico .....	41
4.4.2	Cobre .....	42
4.4.3	Plomo.....	42
4.4.4	Zinc .....	42
4.4.5	Hierro .....	43

4.5 Análisis microbiológicos del agua .....	43
4.6 Presupuesto parcial.....	45
5 CONCLUSIONES .....	46
6 RECOMENDACIONES .....	47
7 BIBLIOGRAFÍAS.....	48
8 ANEXOS.....	54

## INDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro 1. Parámetros del agua para cultivo de tilapia. ....	4
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la tilapia .....	12
Cuadro 3. Peso de peces y cantidad de alimento a consumir. ....	23
Cuadro 4. Parámetros de elementos y metales pesados a determinar en el agua del estanque. ....	28
Cuadro 5. Parámetros físicos y químicos a determinar en el agua del estanque.....	29
Cuadro 6. Resumen toma de datos de peso del ciclo productivo de tilapia.....	33
Cuadro 7. Análisis de varianza .....	34
Cuadro 8: Prueba de Tukey .....	34
Cuadro 9. Resumen toma de datos de talla del ciclo productivo de tilapia.....	35
Cuadro 10. Análisis de varianza .....	36
Cuadro 11. Prueba de Tukey .....	36
Cuadro 12. Parámetros físicos y químicos del agua al inicio de la investigación.....	40
Cuadro 13. Parámetros físicos y químicos del agua a mitad de la investigación.....	40
Cuadro 14. Parámetros físicos y químicos del agua al final de la investigación.....	40
Cuadro 15. Resultados de los análisis de agua en la fuente de abastecimiento del estanque.....	43
Cuadro 16. Resultados de los análisis de agua en los tratamientos .....	43
Cuadro 17. Resultados de los análisis microbiológicos del agua en el estanque. ....	44
Cuadro 18. Presupuesto parcial de la investigación.....	44
Cuadro 19. Inversión realizada durante la investigación.....	45

## INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1. Mapa de ubicación de la Estación Experimental y de Practicas .....	17
Figura 2. Medidas del estanque utilizado en la investigación .....	18
Figura 3. Aplicación de cal en las paredes del estanque.....	18
Figura 4. Exposición del estanque al sol.....	19
Figura 5. Construcción de las jaulas .....	19
Figura 6ª y 6b. Distribución de las jaulas en el estanque .....	20
Figura 7. Transporte de los alevines .....	21
Figura 8. Aclimatación de los alevines de tilapia en el estanque .....	21
Figura 9. Conteo de alevines de tilapia por tratamiento .....	22
Figura 10. Pesaje del alimento concentrado por tratamiento.....	22
Figura 11. Oxigenación del estanque.....	24
Figura 12. Medición de la temperatura del agua del estanque .....	25
Figura 13. Medición de la turbidez del agua con el disco Secchi .....	25
Figura 14. Medición del oxígeno disuelto y de los Sólidos Totales Disueltos con la Sonda Multiparámetros Hach .....	26
Figura 15a y 15b. Toma de muestras de agua para su traslado al laboratorio.....	26
Figura 16a y 16b. Toma de muestras de agua para el análisis microbiológico al inicio y al final de la investigación .....	27
Figura 17. Análisis de muestras de agua en el laboratorio .....	28
Figura 18. Distribución de los tratamientos en el estanque .....	30
Figura 19. Peso promedio de las tilapias a los 112 días después de la siembra.....	33
Figura 20. Peso promedio de las tilapias durante el ciclo productivo .....	34
Figura 21. Tomando el peso de las tilapias.....	34
Figura 22. Fitoplancton (materia orgánica) acumulado en las jaulas .....	35
Figura 23. Tamaño promedio de las tilapias durante el ciclo productivo .....	36
Figura 24. Medición del tamaño o talla de las tilapias. ....	37

## ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

Figura A-1. Análisis de varianza del peso de tilapias a los 112 días después de la siembra.....	55
Figura A-2. Prueba de Tukey del peso de tilapias a los 112 días después de la siembra .....	55
Figura A-3. Análisis de varianza del crecimiento de tilapias a 112 días después de siembra.....	55
Figura A-4. Prueba de Tukey del crecimiento de tilapias a 112 días después de la siembra.....	55
Figura A-5. Resultados de los análisis microbiológicos de la fuente de agua de abastecimiento del estanque.....	56
Figura A-6. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Testigo o Tratamiento 0.....	57
Figura A-7. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Tratamiento 1. ....	58
Figura A-8. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Tratamiento 2. ....	59
Figura A-9. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Tratamiento 3. ....	60
Figura A-10. Toma de datos durante el ciclo productivo de tilapia (112 días).....	61
Figura A-11. Promedio del crecimiento o talla de las tilapias a los 112 días.....	62

## 1 INTRODUCCIÓN

En las décadas de 1960 y 1970, la cultura de la tilapia estaba dirigida a la producción de alimentos para consumo, utilizando métodos de cultivo extensivo o semi-intensivo, con un mínimo uso de fertilizantes o alimentos; sin embargo, el cultivo de tilapia se ha expandido rápidamente durante las últimas décadas como resultado de los avances tecnológicos asociados con la intensificación del cultivo, estos incluyen el desarrollo de nuevas cepas e híbridos, supermacho, dietas formuladas, una variedad de sistemas de cultivo semi-intensivo e intensivo, por ejemplo: estanques, jaulas, tanques y raceways (sistemas de flujo continuo), la utilización de invernaderos, geotermia o calor residual industrial y métodos avanzados de tratamiento de agua (Watanabe *et. al* 2002).

En El Salvador, el cultivo de peces, en particular el de tilapia, ha cobrado interés durante los últimos años, ya que representa una alternativa para aprovechar el recurso acuático para producir pescado de atractivo valor comercial. La demanda de carne de tilapia está aumentando y se perfila una perspectiva interesante, en que la aplicación de una mejor tecnología como semilla mejorada, alimento de calidad, manejo del agua, proceso y una buena gestión de ventas, continuarán siendo claves para el éxito económico de este cultivo (MAG 2001).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la acuicultura y la pesca artesanal presentan un gran aporte a la alimentación mundial y comunitaria, contribuyendo a la reducción de la pobreza y la inseguridad alimentaria, reflejados en el hambre y la malnutrición, al aportar bienestar nutricional, ingresos, oportunidades de empleo, crecimiento económico y generación de divisas (Castillo 2011).

El cultivo de tilapia en El Salvador representa una oportunidad viable para pequeños productores de áreas rurales debido al corto periodo de producción y a su fácil adaptación a condiciones ambientales adversas, sin embargo, los pequeños productores no cuentan con grandes extensiones de terreno dedicados a la producción de dicho cultivo, producto de la dificultad y altos costos para obtener más tierras, por esta razón no pueden generar los ingresos que les permitan un mejor crecimiento económico familiar, teniendo que adoptar la

técnica de mayor densidad de siembra que le permite aumentar el rendimiento del cultivo, con lo que generará mayores ingresos económicos en la misma área de producción.

La densidad de siembra permite alterar las condiciones del medio donde se desarrolla el cultivo de tilapia, ya que cuando se decide aumentar o disminuir el número de peces se está fijando inconscientemente las condiciones en las que se desarrolla el cultivo.

Es por eso que esta investigación tuvo por objeto evaluar el efecto de cuatro densidades de siembra de tilapia a través del uso de módulos artesanales en las que se midieron variables de producción como peso, talla y aspectos de la calidad física-química del agua.

La densidad de siembra de la tilapia está en función a la calidad del agua, por lo que es recomendable hacer pruebas antes para determinar la turbidez del agua, el valor mínimo recomendable es entre 30 y 40 cm, esta se mide con un disco de Secchi o a simple vista calculando la profundidad a la que penetra la luz solar (Alamilla 2004).

Con el propósito de contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de la población de El Salvador, se presenta este proyecto sobre la crianza y producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*), como otra alternativa para diversificar la producción agropecuaria de los productores, mejorando los ingresos y la calidad de vida de sus familias. Por esa razón se evaluaron cuatro densidades de siembra, 5 tilapias/m<sup>3</sup> (metro cuadrado), 10 tilapias/m<sup>3</sup>, 15 tilapias/m<sup>3</sup> y 20 tilapias/m<sup>3</sup>, que estaban distribuidas en jaulas.

## **2 REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible**

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 Objetivos y 169 metas, presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático (CEPAL 2018).

Con esta investigación se estará contribuyendo al cumplimiento del Objetivo 2: Hambre Cero, el cual aborda una necesidad humana fundamental: el acceso a alimentos sanos y nutritivos (FAO-ONU 2017).

### **2.2 Manejo Integrado de Cuencas**

La cuenca hidrográfica es la unidad natural para articular procesos de gestión y conservación del medio ambiente. La mayor parte de los ecosistemas de agua dulce se encuentran en cuencas hidrográficas, constituyéndose en la unidad natural para monitorear los cambios ambientales y para controlar el uso del agua y de la tierra, en un equilibrio con las necesidades ambientales, sociales y económicas (Maravilla *et al.* 2005).

El manejo de la cuenca es el conjunto de esfuerzos tendientes a identificar y aplicar opciones técnicas, socioeconómicas y legales, que establecen una solución al problema causado por el deterioro y mal uso de los recursos naturales renovables, así como de las cuencas hidrográficas, para lograr un mejor desarrollo de la sociedad humana inserta en ellas y de la calidad de vida de la población (Pérez y Shinomi s. f.).

Un adecuado manejo de las cuencas puede contribuir significativamente en los esfuerzos por mejorar la seguridad alimentaria y erradicar la pobreza extrema. Adicionalmente, esta clase de manejo integral puede brindar una mejor protección del ambiente y los ecosistemas humanos, al suministrar agua de buena calidad, regular el control de los flujos de agua y prevenir la contaminación ambiental (FAO-ONU 2017).

### 2.3 Agua

El agua es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida. No sólo es importante para el uso doméstico, sino que también lo es para la industria, la agricultura, entre otros. El agua está en el centro del desarrollo sostenible y resulta fundamental para el desarrollo socio económico, un ecosistema saludable y la supervivencia humana. El agua resulta vital a la hora de reducir la carga mundial de enfermedades y para mejorar la salud, el bienestar y la productividad de las poblaciones; así como, para la producción y la preservación de una serie de beneficios y servicios de los que gozan las personas. El agua también está en el corazón de la adaptación al cambio climático, sirviendo de vínculo crucial entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente (SEMARNAT 2012).

### 2.4 Calidad del agua

En el cultivo de peces se menciona que el crecimiento de los mismos depende en gran parte de la calidad del agua, por lo que, para lograr una buena producción es necesario mantener las condiciones físicas como pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto, condiciones químicas: dureza total (carbonatos), sulfatos y cloruros del agua, dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar.

En algunos estudios se reporta que la concentración de minerales influye en la calidad del agua y los peces se ven afectados a nivel de branquias reduciendo su capacidad respiratoria y metabólica, provocando lento crecimiento que se expresa en bajos rendimientos (Bautista y Ruiz 2011).

FAO, citado por Ascencio *et al.* (2019), mencionan que el fitoplancton (plantas microscópicas del estanque) son las que producen oxígeno y hacen que la variable ganancia de peso se eleve y se vuelva óptima.

A continuación, se presentan algunos parámetros físico-químicos del agua adecuados para el cultivo de tilapia.

Cuadro 1. Parámetros del agua para cultivo de tilapia.

Parámetro	Rango
pH	6.5 a 8.5
Temperatura	28 a 32° C
Turbidez	30 cm de profundidad con disco Secchi
Oxígeno	4 a 12 mg/L
Dureza del agua	20 a 300 mg/L
Sulfatos y cloruros	20 a 400 mg/L

Fuente: Cantor Atlatenco (2007).

La cría de tilapia puede darse en ambientes naturales y seminaturales. Debe haber buena calidad y cantidad de agua, ya sea de río o de nacimiento. Si es agua de río se debe utilizar de preferencia en horas de la noche para disminuir los riesgos de contaminación. Poseer controles de entradas y salidas de agua, en los cuales ubicar cedazos. Si el flujo de agua al estanque no es continuo, debe considerarse hacer recambios permanentes de agua en un 20% como mínimo, según la calidad del agua que se observe en el estanque. No permitir el crecimiento de plantas acuáticas (CENDEPESCA y Misión Técnica Taiwán 2013).

Otros parámetros que se deben de tomar en cuenta en la calidad del agua para la producción de tilapia son:

#### **2.4.1 Coliformes totales**

Las bacterias coliformes se toman como indicadores de contaminación del agua porque provienen del tracto intestinal y materia fecal de las personas y animales, sobreviven largo tiempo en el agua y son fáciles de detectar. En el agua para consumo humano se deben encontrar 0 NMP/100 ml (número más probable/100 ml), mientras que en las aguas recreativas puede aceptarse la presencia de hasta 1,000 NMP/100 ml (López *et al.* 2016).

En general, se han recomendado los siguientes criterios de calidad bacteriológica: en aguas para uso agrícola con restricciones el conteo promedio de coliformes fecales debe ser menor de 5,000/100 ml; en aguas para riego sin restricciones la concentración de coliformes fecales debe ser menor de 100/100 ml; y en aguas para consumo humano el conteo de coliformes debe ser menor de 1/100 ml o 2.2/100 ml según la tabla de NMP (Romero 1999).

#### **2.4.2 Turbidez del agua**

La turbidez en el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos (Romero 1999).

La falta de transparencia del agua está relacionada con la presencia de materia en suspensión, la cual puede ser de origen inorgánico (arcilla, sílice y otras partículas minerales) o biológico (algas, cianobacterias, pigmentos como la clorofila, toxinas como las microcistinas). La falta de transparencia impide el paso de luz afectando la flora y la fauna natural de la laguna. La presencia de cianobacterias constituye un riesgo de intoxicación para el ser humano. Se

desconoce si la turbidez generada por partículas coloidales tiene efectos directos sobre la salud humana pero ciertamente afecta la calidad estética del agua. El nivel recomendado es de 30 cm a 35 cm (Unidades Nefelometrías de Turbidez) (López *et al.* 2016).

González y Mejía (2012) indican que la lectura ideal estará entre los 25 a 35 cm de visibilidad siempre que la turbidez sea ocasionada por algas verdes no filamentosas y que no sean algas verde-azules ni lodo. En otras palabras, el agua debe ser de color verde esmeralda ocasionada por algas clorofíceas principalmente.

### **2.4.3 Temperatura del agua**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamientos y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de oxígeno disuelto (OD), la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relaciona con la temperatura (Romero 1999).

El rango óptimo de temperatura para la producción de tilapia se encuentra entre 28° y 32° C (Colagrosso, citado por Ascencio *et al.* 2019).

En condiciones naturales la tilapia vive en un rango de temperatura que oscila entre los 20 y 32° C, siendo el rango de 24 a 30° C para la reproducción de la especie (CENDEPESCA 2008).

Saavedra, citado por Ascencio *et al.* (2019), menciona que 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 tilapia fluctúa entre 28° C y 32° C, aunque ésta puede continuarse con una variación de hasta 5° C por debajo de este rango óptimo.

Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, por ejemplo: 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% entre otros) (NICOVITA 2014).

#### 2.4.4 Alcalinidad y Dureza del agua

Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, reaccionar con iones hidrogeno, aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas ( $\text{OH}^-$ ). En aguas naturales la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. En algunas fuentes de agua es posible encontrar otras clases de compuestos como boratos, silicatos, fosfatos otros, que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de estos es insignificante y puede ignorarse (Romero 1999).

NICOVITA (2012) menciona que la concentración de carbonatos y bicarbonatos en los valores de alcalinidad y dureza son aproximadamente iguales. La alcalinidad afecta la toxicidad del Sulfato de Cobre en tratamientos como alguicida (en baja alcalinidad aumenta la toxicidad de éste para los peces).

Por estar relacionada directamente con la dureza, el agua para el cultivo de tilapia debe tener una alcalinidad entre 100/ppm a 200/ppm. Durezas por debajo de 20/ppm ocasionan problemas en el porcentaje de fecundidad, se controlan adicionando carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) o cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Durezas por encima de 350/ppm se controlan con el empleo de zeolita en forma de arcilla en polvo adicionada al sistema de filtración. La alcalinidad es la concentración de carbonatos y bicarbonatos en el agua. Los valores de alcalinidad y dureza son aproximadamente iguales. La alcalinidad afecta la toxicidad del sulfato de cobre en tratamientos como alguicida (en baja alcalinidad aumenta la toxicidad de éste para los peces). Para valores por debajo de 20 ppm es necesario aplicar 200 g/m de carbonato de calcio, entre dos y tres veces por año (NICOVITA 2014).

La dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos iones presentes en el agua para formar incrustaciones como cationes: calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ), y aniones: bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloro ( $\text{Cl}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), silicio ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) (Romero 1999).

Dureza del agua se entiende como la medida de la concentración de los iones calcio y magnesio expresados en partes por millón (ppm) de su equivalente a Carbonato de Calcio.

Existen aguas blandas (menor de 100/ppm) y aguas duras (mayor de 100/ppm). Los rangos óptimos son entre 50-350/ppm de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

#### **2.4.5 pH**

Es la concentración de iones hidrógeno en el agua. El rango óptimo para crianza de tilapia es entre 6.5 a 9. Valores por encima o por debajo de ese rango causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, retardan el crecimiento y retrasan la reproducción. Valores de pH cercanos a 5 producen mortalidad en un período de 3 a 5 horas por fallas respiratorias; además, causan pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de mucus de la piel.

Cuando se presentan niveles de pH ácidos, el ion hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) se vuelve soluble afectando las células de los arcos branquiales y, por ende, disminuyendo los procesos de respiración, causando la muerte por anoxia (asfixia por falta de oxígeno). El pH en el agua fluctúa en un ciclo diurno, principalmente influenciada por la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por la densidad del fitoplancton, la alcalinidad total y la dureza del agua. El pH para tilapia debe de ser neutro o muy cercano a él, con una dureza normalmente alta para proporcionar una segregación adecuada del mucus en la piel (NICOVITA 2014).

Un pH por encima de 9 favorece el desarrollo de cianobacterias que no solo afectan la coloración del agua, sino que también puede generar toxinas como las microcistinas (hepatotoxinas), anatoxinas (neurotóxicas) y toxinas irritantes de piel y mucosas (López *et al.* 2016).

#### **2.4.6 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 (NICOVITA 2014).

#### **2.4.7 Nitratos y nitritos**

La concentración de nitratos en el agua subterránea es un tópico común de muchas discusiones acerca de la calidad del agua, ya que es de importancia tanto para humanos como para animales. Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia

en concentraciones potencialmente peligrosas es detectada cuando se manifiesta un problema de salud en organismos de cultivo.

Niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico. A menudo es difícil precisar el origen de un alto contenido de nitratos, debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas es un resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el constante movimiento de los minerales y la descomposición de la materia orgánica. Niveles de nitritos superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos (Bautista y Ruiz 2011).

Según FAO y Tecnologías y Prácticas para Pequeños Productores Agrarios TECA (2017), los valores de nitratos para un sistema acuapónico deben ser entre 5 y 150 mg/litro en cada sistema.

#### **2.4.8 Sólidos en suspensión**

Aumentan la turbidez en el agua, disminuyendo el oxígeno disuelto en ella. Los sólidos se deben controlar mediante sistemas de desarenadores y filtros. De acuerdo a la concentración de sólidos disueltos se pueden clasificar los estanques en:

- Estanques limpios: Sólidos menores a 25 mg/l.
- Estanques intermedios: Sólidos entre 25 - 100 mg/l.
- Estanques lodosos: Sólidos mayores a 100 mg/l (NICOVITA 2014).

#### **2.4.9 Hierro**

El hierro crea problemas en los suministros de agua. En general estos problemas son más comunes en aguas subterráneas y en aguas de hipolimnio anaerobio de lagos estratificados; en algunos casos también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses (Romero 1999).

Se recomienda valores de hierro en el agua potable entre 0.05 a 0.1 mg/L (Martínez y Cano 2008, citado por CONACYT 1999).

#### **2.4.10 Conductividad eléctrica**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación (Romero 1999).

La conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Na, fosfatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos. Las aguas que tienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas. (Montano y Vargas 2018, citado por Sierra 2011).

#### **2.4.11 Oxígeno disuelto**

Su concentración depende de la difusión en el agua del aire del entorno, la aireación del agua debida a saltos o agitación, y como subproducto de la fotosíntesis. Su concentración también varía con la temperatura, disminuyendo a medida que esta aumenta. La superpoblación bacteriana disminuye el oxígeno disuelto, lo mismo que la eutrofización de los cursos de agua (López *et al.* 2016).

El oxígeno disuelto se presenta en cantidades variables y bajas en el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente y es, por ello, un factor muy importante en la autopurificación de los ríos. Los valores de oxígeno disuelto en agua son bajos y disminuyen con la temperatura (Romero 1999).

La tilapia nilótica es capaz de sobrevivir en aguas cuya concentración de oxígeno disuelto es menor de 0.3 mg/l, considerablemente más baja que la requerida por la mayor parte de especies cultivadas. Aunque la tilapia sea capaz de sobrevivir en condiciones de muy baja concentración de oxígeno disuelto durante varias horas, los estanques de cría de tilapia deberían mantener una concentración por encima de 2 mg/l (NICOVITA 2012).

#### **2.4.12 Unidades de oxígeno para tilapia**

La tilapia es capaz de sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, por la capacidad que su sangre posee para saturarse de oxígeno cuando la presión parcial de éste es baja. En esos casos la tilapia tiene la facultad de reducir el consumo del mismo cuando las condiciones son adversas.

La actividad metabólica, el crecimiento y posiblemente la resistencia a enfermedades, se ven afectadas cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua descienden de ese valor durante períodos prolongados (CENDEPESCA 2008).

#### **2.4.13 Demanda Bioquímica Oxígeno**

La materia orgánica presente en cursos de agua es biodegradada por los microorganismos aeróbicos (que trabajan en presencia de oxígeno). La Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es una técnica usada para establecer los requerimientos de oxígeno necesario para la degradación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua (López *et al* 2016).

#### **2.4.14 Arsénico**

El agua subterránea contiene niveles de arsénico más altos que el agua superficial con 0.05 ppm a 0.2 ppm. El arsénico puede penetrar a los organismos vivos a través del aire al respirar, por alimentos y agua de bebida, los alimentos son la fuente principal de arsénico (Flores 2016, citado por Sager 2000).

#### **2.4.15 Cobre**

El límite máximo permisible de cobre en el agua es de 2 mg/l (Calderón 2018, citado por Acuerdo Ministerial número 026-2 009 2009).

#### **2.4.16 Plomo**

El límite máximo permisible de plomo en el agua es de 10 µg/l (Calderón 2018, citado por Acuerdo Ministerial número 026-2 009 2009).

#### **2.4.17 Zinc**

El límite máximo permisible de zinc en el agua es de 2 mg/l (Calderón 2018, citado por Acuerdo Ministerial número 026-2 009 2009).

### **2.5 Tilapia**

Los peces son poiquilotermos, variando su temperatura de acuerdo con la temperatura del medio en que viven, adaptándose a las variaciones moderadas de temperatura, en un intervalo de tolerancia dependiente de cada especie en particular (FAO citado por Ascencio *et al.* 2019).

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. 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 (NICOVITA 2014).

La tilapia es un pez de aguas tropicales introducido en El Salvador a comienzos de los años setenta. En comparación con otros peces, posee extraordinarias cualidades para el cultivo como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación a cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos, alta resistencia a enfermedades; además de contar con algunos atributos para el mercado como: carne blanca de buena calidad, buen sabor, poca espina, buena talla y precio accesible, que le confiere una preferencia y demanda comercial en la acuicultura mundial. (CENDEPESCA y Misión Técnica Taiwán 2013).

Existen más de cien tipos de tilapia y para su cultivo se usan solamente machos debido a que son peces que tienen un fuerte dimorfismo sexual, llegando a pesar los machos hasta tres veces más que las hembras en un mismo periodo de cultivo; además, su fácil reproducción ocasiona que la crianza de ambos sexos cause competencia por la reproducción y por los alimentos. En un cultivo un porcentaje igual o superior al 5% de hembras puede hacerlo económicamente inviable (CENDEPESCA y Misión Técnica Taiwán 2013).

### 2.5.1 Clasificación taxonómica de la tilapia

La clasificación taxonómica de la tilapia es la siguiente:

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la tilapia.

Reyno	Animal
Phylum	Chordata
Sub phylum	Vertebrata
Superclase	Gnathostomata
Serie	Picis
Clase	Actinopterygii
Orden	Perciformes
Suborden	Percoidei
Familia	Cichlidae
Género	<i>Oreochromis</i>
Especie	<i>Niloticus,</i> <i>Mossambicus, Aureus,</i> <i>Uroleptis hornorum sp.</i>

Fuente: Cantor Atlatenco (2007).

### 2.5.2 Densidades de siembra

Se prefiere usar alevines machos, la cantidad a sembrar es de 3 a 5 peces/m<sup>3</sup> de espejo de agua. El incremento de la cantidad de alevines dependerá de la disponibilidad de agua de buena calidad, de tal manera que sea posible hacer un recambio mínimo del 10% del agua del estanque (CENDEPESCA 2008).

Se deben utilizar densidades adecuadas, esto es, número de peces por metro cubico. Los peces crecen más rápido cuando tienen mucho espacio y mayor cantidad de agua (USAID 2006).

FAO (2009) señala que en Tailandia el cultivo extensivo de tilapia se siembra en densidades de 1 a 3 peces/m<sup>3</sup> hasta alcanzar un peso entre 400 y 500 g en un período de 5 a 8 meses; en Brasil, los volúmenes de las jaulas y las densidades de siembra varían de 200 a 300 peces/m<sup>3</sup> y de 25 a 50 peces/m<sup>3</sup>; en Colombia, los alevines machos son sembrados con 30 g hasta alcanzar 150 y 300 g en 6 a 8 meses con densidades de 160 y 350 peces/m<sup>3</sup>.

A densidades de 1 a 2 peces/m<sup>3</sup> no se necesita de aplicación de alimento artificial, basta con estimular la producción de alimento natural con el uso de fertilizante orgánico o inorgánico.

Los tipos de explotación de tilapia son:

- Cultivo extensivo: 1 pez/m<sup>3</sup>
- Cultivo semi-intensivo: 3 a 5 peces/m<sup>3</sup>
- Cultivo intensivo: 10 a 15 peces/m<sup>3</sup>.
- Cultivo super-intensivo: más de 30 peces/m<sup>3</sup> (CENDEPESCA 2008).

Bolaños, citado por Núñez (2017), investigó la tilapia roja hibrida (*Oreochromis spp.*) cultivada en jaulas flotantes en ambiente marino, no encontró diferencia significativa entre las densidades de 80, 120 y 170 peces/m<sup>3</sup>, pero, la que presento mejor crecimiento fue la de 80 peces/m<sup>3</sup>, solo machos.

Cárdenas (2012) menciona que la densidad de siembra de peces afecta directamente el desarrollo de los organismos en los sistemas de cultivo controlado, ya que entre mayor sean los organismos o la biomasa por m<sup>3</sup>, es menor el tiempo que perduran las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia de la especie.

Los peces crecen más rápido cuando tienen mucho espacio y mayor cantidad de agua, si la densidad es muy alta genera estrés en los peces y afecta la ganancia de peso (Saavedra 2006).

Ascencio *et al.* (2019) mencionan que en un sistema acuapónico obtuvieron los siguientes resultados: el tratamiento que más ganancia de peso promedio tuvo fue el tratamiento 1 con 50 peces/m<sup>3</sup> y un peso promedio de 76.1 g en tres bloques, obteniendo el mayor peso en la repetición 3 con 90.7 g.

### **2.5.3 Hábitat**

Son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales. Debido a su naturaleza híbrida se adapta con gran facilidad a ambientes lenticos (aguas poco estancadas), estanques, lagunas, reservorios y en general a medios confinados. Los tipos de aireación en los estanques son: natural (caídas de agua, escaleras, chorros, cascadas, sistemas de abanico) y mecánica (motobombas, difusores, aireadores de paletas, aireadores de inyección de oxígeno, generadores de oxígeno líquido) (NICOVITA 2014).

## **2.6 Producción y comercialización de tilapia**

### **2.6.1 Estanque**

Antes de llenar un estanque aplicar de 300 a 400 kg de cal/ha al voleo. Una vez el estanque este lleno con agua, aplicar al voleo fertilizante como fórmula 20-20-0 en dosis de 150 kg/ha; también aplicar al voleo estiércol de ganado en dosis de 300 kg/ha para la generación de plantón y zooplancton, de preferencia 24 horas antes de la siembra de la tilapia para permitir el crecimiento de organismos acuáticos que constituyen el alimento natural (CENDEPESCA 2008).

### **2.6.2 Suministro y siembra de alevines**

Un aspecto a considerar al momento de obtener el alevín es que esté bien preparado para el traslado. Normalmente una bolsa de 50 cm x 50 cm sin oxígeno puede mantener condiciones ideales durante dos horas, si el traslado requiere de más tiempo debe agregarse oxígeno a la bolsa con un compresor de aire.

De preferencia sembrar solo machos. Previo a su liberación, colocar las bolsas flotando sobre el estanque por 15 minutos para equilibrar la temperatura. Del estado de alevín a juvenil

sembrar de 15 a 20 alevines/m<sup>3</sup> durante 30 días, inicia cuando el pez tiene talla de 12 a 15 gr y se mantiene hasta que el pez alcanza una talla juvenil de 14 a 15 cm y un peso de 50 a 70 gr. Del estado juvenil a engorde sembrar de 3 a 5 juveniles/m<sup>3</sup>, esta densidad se mantiene hasta que el pez alcanza una talla comercial, es decir, 130 gr y su talla es de 20 a 22 cm (CENDEPESCA 2008).

### **2.6.3 Alimentación de tilapias**

La producción industrial de tilapia requiere del suministro de alimento con un mínimo de 30% de proteína, se ha determinado que valores de proteína entre 25 a 45% no afecta la reproducción de la tilapia, el alimento vivo es importante como iniciador del cultivo (pre-cría), el óptimo de digestibilidad es a 25° C. Se pueden alimentar las tilapias con dietas sin harina de pescado, siempre y cuando se satisfaga el requerimiento de aminoácidos, en este caso, Cabrera *et al* (2001) recomiendan entre 28 a 29% de proteína.

En los primeros estadios de la tilapia, los alevines deben ser alimentados con alimento balanceado conteniendo 45% de proteína, a razón de 10 a 15% de la biomasa, distribuida entre 5 a 8 veces al día (Chimits, citado por Arevalo y Marin 2011).

Meyer y Mejia (1993) menciona que los resultados de sus investigaciones en El Zamorano, Honduras, indican que la tilapia logra su mejor tasa de crecimiento con niveles de proteína cruda en la dieta entre 25 a 50%.

El alimento puede ser en forma de churro o pellet, o en polvo. La cantidad de alimento a proporcionar se calcula realizando muestreos de siembra cada 14 días, pesando un 2% de la siembra total. Calcular la ración total de alimento por día y dividirla en 4 partes, es decir, dar el alimento 4 veces en el día, por ejemplo: 7:00 a.m., 10:00 a.m., 1:00 p.m. y 4:00 p.m. La alimentación de los peces en sus diferentes etapas, se debe tener en cuenta el nivel de proteína con el que se obtiene el máximo crecimiento (Meyer y Mejía 1993).

Tipo de alimento.

Por 30 días aplicar alimento con 40% de proteína.

Por 30 días aplicar alimento con 35% de proteína.

Por 30 días aplicar alimento con 32% de proteína.

Por 30 días aplicar alimento con 28% de proteína (engorde final) (CENDEPESCA 2008).

#### **2.6.4 Cosecha**

Esta se realiza a los 4 meses después de la siembra, siempre que haya un buen manejo y una adecuada alimentación, lo que permite obtener tres cosechas/año. Antes de cosechar se tiene que bajar la profundidad del agua de 150 cm a 80 cm, después se usa un chinchorro para pescarlos. Para conservar la tilapia se deben preparar varios baldes de agua con hielo. Todo el manejo del embolsado de la tilapia tiene que hacerse manteniéndolos frescos hasta venderlos. En suelos ácidos, después de cada cosecha de tilapia se recomienda aplicar al estanque cal en dosis de 300 a 400 kg de cal/ha (CENDEPESCA 2008).

Además, hay ciertas actividades que se recomienda realizar tales como: la pesca o cosecha efectuarla por la madrugada, evitar las altas temperaturas (medio día o el sol intenso) ya que los peces pueden estresarse y dejar de comer, suspender el alimento un día antes a la cosecha, no suministrar medicamentos 10 días antes de la cosecha. La calidad del cultivo en la cosecha va a depender de la variedad y calidad genética de la semilla, la alimentación adecuada administrada y el buen manejo que se le aplique al cultivo (Gómez 2005).

En el cultivo de peces se menciona que el crecimiento de los mismos depende en gran parte de la calidad del agua, por lo que, para lograr una buena producción es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar. En algunos estudios se reporta que la concentración de minerales influye en la calidad del agua y los peces se ven afectados a nivel de branquias, reduciendo su capacidad respiratoria y metabólica, provocando lento crecimiento que se expresa en bajos rendimientos (USAID 2006).

#### **2.6.5 Precio comercial local de alevines de tilapia**

En El Salvador hay tres tipos de organizaciones productoras de alevines: Alevines de Atiocoyo; Aquacorporación y CENDEPESCA, existen otras cooperativas como El Júcaro, pero sus producciones son modestas. Alevines de Atiocoyo cuenta con una capacidad de producción de alrededor de 9 millones de alevines reversados anualmente, que se venden a US\$ 0.05/unidad; CENDEPESCA produce 5,836,432 alevines (reversado y supermacho, dato del 2009) y Aquacorporación produce 5 millones (estimados a partir de sus exportaciones).

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Ubicación de la Investigación

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de la Paz, en el kilómetro 57 de la carretera del Litoral que conduce al Puerto de La Libertad, con coordenadas geográficas 13°28'3" Latitud Norte y -89°05'8" Longitud Oeste, a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar, precipitación media anual de 1,700 mm, temperatura anual de 28° C, humedad relativa de 76% y una velocidad del viento de 8 km/h, en el periodo de octubre 2019 a febrero 2020 (Martínez *et al.* 2005).

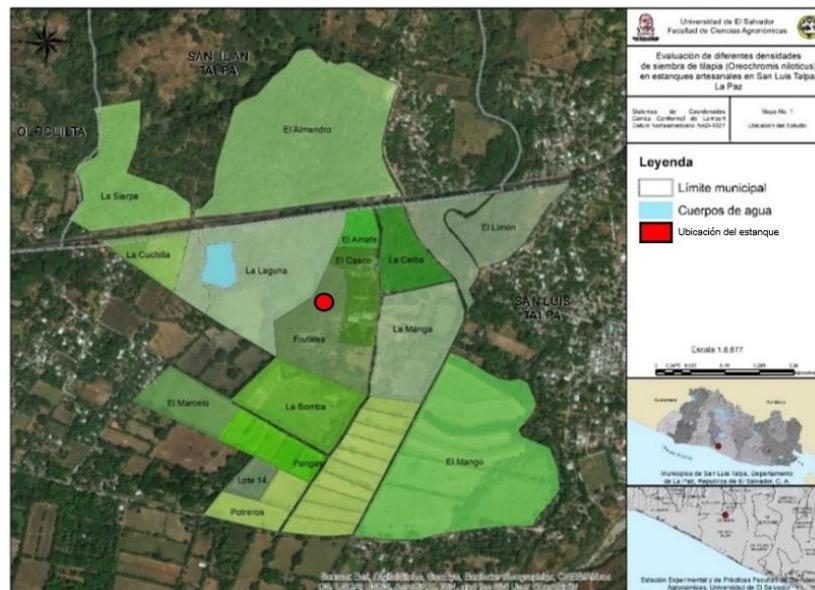


Figura 1. Mapa de ubicación de la Estación Experimental y de Prácticas.

#### 3.2 Metodología de campo

##### 3.2.1 Preparación del estanque

La investigación se realizó en un estanque artesanal de 10.50 metros de largo, 6.34 m de ancho y 1.30 m de profundidad (figura 2).

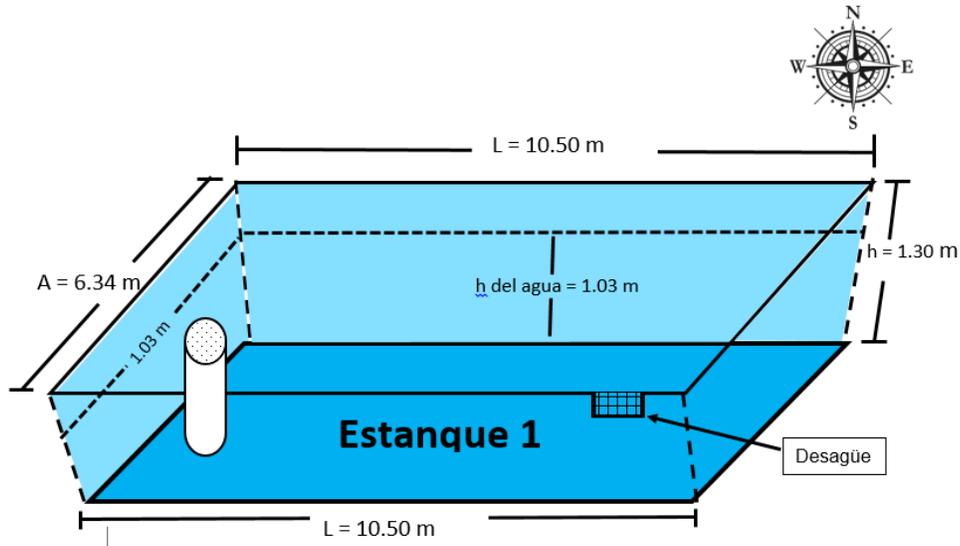


Figura 2. Medidas del estanque utilizado en la investigación.

La preparación del estanque se realizó una semana antes de la siembra de los alevines de tilapia, para ello se vació el estanque con el objeto de desinfectarlo, para lo cual se aplicaron cinco libras de cal viva diluida en agua con una escoba en las paredes y en el fondo del estanque.



Figura 3. Aplicación de cal en las paredes del estanque.

El estanque se dejó a plena exposición del sol por una semana, lo que también sirvió para la desinfección, luego se procedió al lavado y llenado del estanque agregando una columna de agua de 1.05 m. Después de llenar con agua el estanque se aplicó al voleo dos libras de fertilizante fórmula 20-20-0 en el estanque.



Figura 4. Exposición del estanque al sol.

### 3.2.2 Construcción de jaulas

Cada una de las cuatro jaulas se construyeron con tubo estructural de hierro de  $\frac{3}{4}$  pulgadas, chapa 16 milímetros, se colocó una malla tipo gallinero con un tamaño de los orificios de una pulgada, y para evitar la salida y entrada de peces se utilizó una malla de color blanco tipo cedazo en los primeros estadios de la tilapia, luego se retiró para evitar la acumulación de sedimentos en los tratamientos. Las medidas de las jaulas fueron: 3 m de largo, 2.5 m de ancho y 1.15 m de altura, con una compuerta ubicada en la parte superior de cada jaula para el manejo de las tilapias. Todas las jaulas eran del mismo tamaño



Figura 5. Construcción de las jaulas.

La distribución de las jaulas en el estanque y de los tratamientos que son las densidades de siembra se sortearon al azar. Las jaulas quedaron sentadas en el fondo del estanque sin ningún tipo de anclaje, ya que el peso de cada módulo ayudo a que se mantuvieran estables.



Figura 6a y 6b. Distribución de las jaulas en el estanque.

### 3.2.3 Compra y transporte de alevines

La compra de los alevines de tilapia se realizó en la Estación Acuícola del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), ubicada en la carretera El Litoral (CA- 2E), kilómetro 73, cantón Santa Cruz Porrillo, municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente, la cual se realizó temprano por la mañana para evitar el estrés de los alevines y reducir el porcentaje de mortalidad.

En total se compraron 376 alevines de tilapia para establecer la investigación, a un costo de \$0.07 de dólar por unidad, haciendo un costo total de \$26.32.

Los alevines de tilapia fueron transportados en bolsa plástica conteniendo 25% de agua, 50% de oxígeno y el otro 25% para el amarre de la bolsa con una banda de hule. Este procedimiento es indispensable para evitar el estrés de los alevines.



Figura 7. Transporte de los alevines.

### 3.2.4 Siembra de los alevines

Una vez llenado el estanque con agua se realizó la siembra de los alevines, para ello se colocaron las bolsas conteniendo los peces de tilapia en el estanque durante 15 minutos para aclimatar a los alevines a la temperatura del agua.

Luego se distribuyeron los alevines de tilapia de acuerdo a los tratamientos a evaluar: en el Tratamiento 1 se sembraron 10 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 75 peces; en el Tratamiento 2 se introdujeron 15 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 113 alevines; en el Tratamiento 3 se colocaron 20 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 150 peces; y en el Tratamiento 0 (Testigo) se establecieron 5 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 38 alevines.



Figura 8. Aclimatación de los alevines de tilapia en el estanque.



Figura 9. Conteo de alevines de tilapia por tratamiento.

### 3.2.5 Alimentación de los peces

Para la alimentación de los peces de tilapia se calculó la ración total del día y se dividió en 4 partes, ya que se estuvo alimentando a los peces 4 veces al día, en horarios de 8:00 am, 10:00 am, 1:00 pm y 3:00 pm, se calculó también las raciones a dar en cada uno de los módulos desde el primer día en que llegaron los alevines durante 4 meses. En los primeros 40 días los peces se alimentaron con concentrado de la marca Tecnutral® con 38% de proteína, del día 41 al día 112 se alimentó con concentrado de la marca FONTANA® con 32% de proteína.



Figura 10. Pesaje del alimento concentrado por tratamiento.

Para el cálculo de la cantidad de alimento concentrado proporcionado a los peces se utilizó el cuadro siguiente:

Cuadro 3. Peso de los peces y cantidad de alimento a consumir.

Edad (semanas)	Peso promedio de los peces (gr)	Alimento a proporcionar (Porcentaje de peso vivo)
2	1-10	15
4	11-20	10
6	21-30	5
8	31-45	4.5
10	46-60	4
12	61-80	3
14	81-100	2.8
16	101-200	2.3
18	201-300	2
20	301-400	1.8

Fuente: CENDEPESCA (2008).

A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo de alimento:

Información:

- Área del estanque: 2,000 m<sup>3</sup>
- Se siembran 4 alevines/ m<sup>3</sup>
- El total de la siembra son 8,000 alevines (2,000 m<sup>3</sup> por 4 alevines/ m<sup>3</sup>).
- Tamaño de la muestra: 2% (0.02).
- El número a pesar son 160 alevines (8,000 alevines por 0.02).
- El peso promedio de los peces es 2 gr.
- Eso equivale a 16,000 gr o 35.24 libras de biomasa (8,000 alevines por 2 gr cada uno), (16,000 gr entre 454 gr).

Si se aplica el 15% del cuadro 3, son 5.28 libras de alimento por día (35.24 lb por 0.15), que debe ser aplicado en 4 raciones por día, significa que será 1.32 libras/ración.

### **3.2.6 Oxigenación del agua**

La oxigenación del agua del estanque se hizo dos veces al día a través de una caída de agua, para ello se construyó un sistema de distribución de tubo PVC de 1 pulgada de grosor que se extendía de un extremo del estanque al otro, al final del tubo se colocó un tapón de PVC para retener el paso del agua y lograr que el agua saliera por las perforaciones que se le hicieron al tubo a los costados con una separación de 20 centímetros, esta caída de agua era la que generaba la oxigenación controlada por una válvula de bola.

El sistema estaba conectado a la fuente de abastecimiento de agua del estanque, el cual se elevó a una altura de 2 metros, para ello se colocaron dos postes de concreto de 2.80 m de altura y a 60 cm bajo el nivel del suelo, luego se tensó un alambre galvanizado calibre 16, amarrándolo en la parte superior de cada poste y con amarres a cada 2 m se sostuvo el tubo de PVC.

El nivel de oxigenación que se manejo fue el mismo en todo el estanque y en las cuatro jaulas, ya que el flujo de agua entre jaula y jaula no es controlado, porque el material del cual fueron elaboradas solo evita la entrada y salida de los alevines, pero no el paso del agua entre jaula y jaula; también se realizaron recambios de agua cada semana, un recambio parcial (50%) y un recambio total.



Figura 11. Oxigenación del estanque.

### 3.3 Análisis físico, químico y microbiológico del agua

#### 3.3.1 Muestreo del agua para análisis físico y químico

El muestreo de agua se realizó al momento de la siembra en la fuente de abastecimiento de agua del estanque, para determinar los parámetros físicos (pH, temperatura, turbidez, oxígeno y sólidos disueltos), químicos, la concentración de metales pesados (arsénico, plomo, cobre, entre otros); luego se realizó un muestreo del agua cada mes para monitorear el comportamiento de los parámetros antes mencionados.

Los parámetros físicos como: pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto y sólidos disueltos se midieron en campo utilizando lo siguiente: la medición del pH se realizó dos veces al día, introduciendo el electrodo del pH-metro (marca OAKTON waterpolo pHtester 30) en el agua del estanque y se anotaba la lectura respectiva; la temperatura se midió introduciendo el electrodo en el agua del estanque y se anotó el valor reflejado. Estos parámetros se midieron con el objetivo de monitorear el incremento de las temperaturas que pudieran afectar el consumo de alimento y por ende la oxigenación y calidad del agua en el estanque.



Figura 12. Medición de la temperatura del agua del estanque.

La turbidez del agua del estanque se midió con un disco Secchi, haciendo una lectura en cada jaula una vez por semana, para lo cual se introducía el disco en posición vertical hasta el punto en que el disco ya no es visible, en ese momento se hacía la lectura.



Figura 13. Medición de la turbidez del agua con el disco Secchi.

La medición del oxígeno disuelto (OD) y de los Sólidos Totales Disueltos (STD) se hizo cada tres semanas, con el método Potenciométrico y el equipo es una Sonda Multi-parámetros marca HACH modelo D40, para ello se introducía el electrodo de la sonda en el agua de cada uno de los tratamientos, se hacían hasta tres lecturas para evitar errores y se anotaba la última lectura en los registros de campo.



Figura 14. Medición del oxígeno disuelto y de los Sólidos Totales Disueltos con la Sonda Multiparámetros Hach.

Para la medición de los parámetros químicos (arsénico, cobre, plomo, hierro, zinc) se realizaron muestreos en el agua del estanque cada mes para determinar la calidad del agua,

utilizando recipientes de polietileno con capacidad de un litro, los cuales se llenaron con agua, se identificaron y se colocaron en una hielera a temperatura de 4° C.



Figura 15a y 15b. Toma de muestras de agua para su traslado al laboratorio

Después de colectadas las muestras de agua, fueron trasladadas al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, para el análisis respectivo.

### 3.3.2 Muestreo del agua para análisis microbiológico

Para realizar los análisis microbiológicos del agua para determinar coliformes fecales y *Escherichia coli* se hicieron 2 muestreos: el primero se tomó en la fuente de abastecimiento de agua del estanque al momento de la siembra de los alevines en un solo frasco de polietileno de 1 litro de capacidad esterilizado en autoclave, el cual se identificó y se colocó en una hielera a temperatura de 4° C para su traslado al laboratorio.

El segundo muestreo de agua se hizo al final de la investigación, es decir, al momento de la cosecha de las tilapias, para ello se utilizaron 4 frascos de polietileno de 1 litro de capacidad esterilizados en autoclave, cada frasco representaba un módulo de cada uno de los tratamientos. Todos los recipientes se identificaron con la fecha y hora del muestreo, tratamiento, ubicación y nombre de la persona que tomo la muestra, luego se colocaron en una hielera a temperatura de 4° C para ser trasladados al laboratorio.



Figura 16a y 16b. Toma de muestras de agua para el análisis microbiológico al inicio y al final de la investigación.

Los análisis microbiológicos del agua se realizaron en el laboratorio de Control de Calidad Microbiológico de Alimentos, Medicamentos y Aguas del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD) de la Universidad de El Salvador. El método utilizado para el análisis de las muestras de agua es el Método del Numero Más Probable (NMP).

El equipo utilizado para el desarrollo de la investigación fue: balanza analítica, regla plástica de 30 cm, balanza de reloj, malla tipo cedazo para captura de peces, Sonda Multi-parámetros marca HACH modelo D40, pHmetro Termómetro marca OAKTON waterproof pHtester 30, tres cubetas plásticas de 5 galones, dos escobas, dos extensiones eléctricas de 30 m cada una, una carretilla para transporte del equipo, un disco Secchi, una hielera térmica, ocho frascos de polietileno de 1 litro, un recipiente artesanal para muestreo de agua, un recipiente plástico para pesar los peces, un lumpe, cuatro módulos para separar las densidades de peces, una libreta de campo, lapicero, cámara fotográfica, calculadora.

### **3.4 Metodología de laboratorio**

La determinación de los metales pesados arsénico, plomo y cobre, y de otros elementos como el hierro, zinc y sodio se hizo por el método de espectroscopia de absorción atómica;



Figura 17. Análisis de muestras de agua en el laboratorio.

Cuadro 4. Parámetros de elementos y metales pesados a determinar en el agua del estanque.

Elemento	Longitud de Onda (nm)	Rango de concentración de la curva de calibración	Tubo	Volumen de inyección de muestra	Sustancias interferentes y modificaciones de matriz	Método
Arsénico (As)	193.7	1 a 20 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad (agregado de Pd de 10)	20 $\mu$ l	Interferencia negativa con 500 mg/l de CA, 500 mg/l de Na o 50 mg/l de Fe. Se agrega Nitrato de Paladio (II) o Nitrato de Niquel.	Espectroscopia de Absorción Atómica por generador de Hidruros
Cobre (Cu)	324.8	10 a 50 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad.	20 $\mu$ l		Espectroscopia de Absorción Atómica por llama
Hierro (Fe)	313.4	10 a 50 ng/mL	Tubo de grafito Pírolítico.	20 $\mu$ l		Espectroscopia de Absorción Atómica por llama
Plomo (Pb)	283.3	1 a 20 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad (con 10 ppm de Pd agregados)	20 $\mu$ l	Interferencia positiva con 1,000 mg/l de Mg, 500 mg/l de Ca o 500 mg/l de Na. Se adiciona Nitrato de Paladio (II) o Cloruro de Amonio.	Espectroscopia de Absorción Atómica por horno de grafito
Zinc (Zn)	213.9	1 a 4 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad	10 $\mu$ l		Espectroscopia de Absorción Atómica por llama

Fuente: Shimadzu (s.f.).

Cuadro 5. Parámetros físicos y químicos a determinar en el agua del estanque.

N°	Elemento	Unidad de medida	Metodología
1	pH	Adimensional	pH-metro
2	Turbidez	NTU	Método espectrofotométrico visible (NOVA 60)
3	Temperatura (T°)	°C	Método directo, termómetro de vidrio con mercurio
4	Sólidos totales disueltos (STD)	mg/l	Método potenciométrico (Sonda Multiparámetros Hach)

Fuente: CENDEPESCA (2008), RTS 13.02.01:14 (2018).

### 3.5 Metodología estadística

Se utilizó un diseño estadístico Completamente al Azar, el cual es una prueba basada en determinar la variación estadística total proveniente de la distribución en los tratamientos (jaulas) de la siguiente manera.

Los tratamientos que se evaluaron fueron:

- Tratamiento 1 (T1): se sembraron 10 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 75 peces.
- Tratamiento 2 (T2): se introdujeron 15 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 113 alevines.
- Tratamiento 3 (T3): se colocaron 20 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 150 peces.
- Tratamiento 0 (T0 o Testigo): se establecieron 5 tilapias/m<sup>3</sup>, en total 38 alevines.

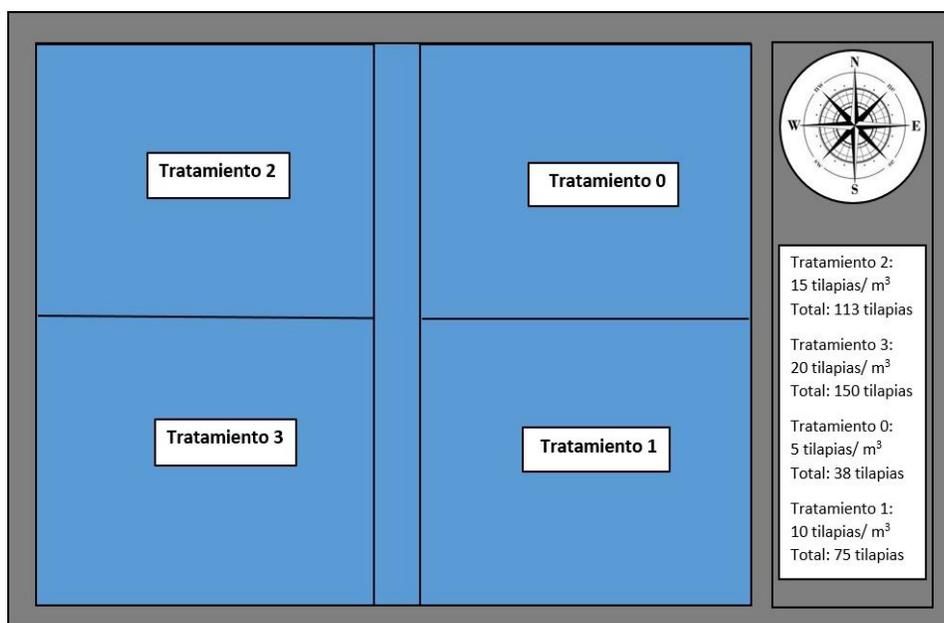


Figura 18. Distribución de los tratamientos en el estanque.

Las variables independientes que se evaluaron fueron:

- Densidad de siembra de 10 tilapias/m<sup>3</sup>, equivalentes a 75 peces (unidades experimentales) por jaula.
- Densidad de siembra de 15 tilapias/m<sup>3</sup>, equivalentes a 113 peces (unidades experimentales) por jaula.
- Densidad de siembra de 20 tilapias/m<sup>3</sup>, equivalentes a 150 peces (unidades experimentales) por jaula.
- Densidad de siembra de 5 tilapias/m<sup>3</sup>, equivalentes a 38 peces (unidades experimentales) por jaula.

La cantidad de unidades experimentales que se utilizaron por tratamiento se obtuvieron al multiplicar los 7.5 m<sup>2</sup> de espejo de agua que contenía cada jaula por la densidad de siembra correspondiente (Recomendación técnica de CENDEPESCA).

Las variables dependientes que se midieron fueron:

- Peso en gramos de las tilapias.
- Crecimiento o talla en centímetros de las tilapias.

### **3.5.1 Toma de datos en los muestreos**

Para la toma de datos de los parámetros crecimiento y peso se hicieron muestreos cada 14 días, extrayendo al azar de cada jaula 5 grupos o bloques de tilapias, cada bloque estaba constituido por 7 individuos o unidades experimentales, para ello se disminuía el volumen de agua del estanque para facilitar la captura de los peces, luego con una red de mano tipo colador se procedió a la captura de las tilapias y con ayuda de una balanza digital se tomó el peso en grupos de 7 peces. El peso obtenido se dividió entre el total de tilapias por modulo para obtener el peso promedio de los tratamientos, anotándose el valor en una bitácora de registro de campo. Para la medición del crecimiento o talla de las tilapias se utilizó una regla graduada en centímetros, registrándose valores desde el primer día de la siembra.

Para el ordenamiento y tabulación de los promedios de talla y peso se utilizó el programa Microsoft Excel 2016, que es de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows, el cual permitió la obtención de medias descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio.

A cada uno de los datos se les realizó una prueba de distribución normal (F) que determina el comportamiento normal de los datos y el nivel de variación entre estos; para comprobar la variación estadística se realizó una correlación entre las variables (talla y peso) versus densidades a través del programa estadístico INFOSTAT.

Con la prueba de Tukey se estableció la hipótesis que permitió despejar la duda sobre el supuesto de homogeneidad:

$H_0$  = (Varianzas homogéneas) = Todos los tratamientos se comportan de igual manera.

$H_a$  = (Varianzas heterogéneas) = Al menos uno de los tratamientos es diferente.

La regla de decisión para la hipótesis fue:

Si  $F_c > F_t$ , se rechaza la hipótesis nula (Varianzas heterogéneas).

Si  $F_c < F_t$ , se rechaza la hipótesis alterna (Varianzas homogéneas).

### **3.6 Metodología económica**

El análisis económico se realizó a través del presupuesto parcial, el cual es un instrumento que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de comparar los ingresos obtenidos (beneficios) versus los costos generados de los diferentes tratamientos, y se hizo para calcular el costo de producción de las tilapias desarrolladas por tratamiento, tomando en cuenta los costos de la compra de los alevines y el alimento concentrado. Con estos datos se evaluó que tratamiento producía mejores rendimientos.

Los elementos básicos que se utilizaron para determinar el presupuesto parcial fueron: rendimientos medios, rendimientos ajustados, beneficio bruto de campo, costos que varían, total de los costos que varían y beneficios netos.

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Peso de los peces**

Según los resultados obtenidos en esta investigación a los 112 días (3 meses con 22 días) después de la siembra de los alevines, el mayor peso promedio de los peces se obtuvo con el Testigo o Tratamiento 0 (5 tilapias/m<sup>3</sup>) con 1,206 g, seguido por el Tratamiento 1 (10 tilapias/m<sup>3</sup>) con 1,122 g, luego el Tratamiento 3 (20 tilapias/m<sup>3</sup>) con un peso de 1,073 g y por último el Tratamiento 2 (15 tilapias/m<sup>3</sup>) con 1,050 g.

El Testigo o Tratamiento cero obtuvo el mayor peso promedio, lo cual puede atribuirse a que tenía menos peces por metro cúbico, mayor disponibilidad de espacio y poca competencia por el alimento.

Cuadro 6. Resumen toma de datos de peso del ciclo productivo de la tilapia.

Fecha	Testigo o Tratamiento 0 (Densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (Densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (Densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (Densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
1 <sup>er</sup> muestreo	65	93	69	95
2 <sup>o</sup> muestreo	199	225	222	279
3 <sup>er</sup> muestreo	332	360	377	368
4 <sup>o</sup> muestreo	539	502	508	522
5 <sup>o</sup> muestreo	719	706	658	673
6 <sup>o</sup> muestreo	910	882	807	796
7 <sup>o</sup> muestreo	1,056	952	853	918
<b>Muestreo final</b>	<b>1,206</b>	<b>1,122</b>	<b>1,050</b>	<b>1,073</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Los resultados de esta investigación coinciden con lo reportado por Saavedra (2006), quien encontró que los peces crecen más rápido cuando tienen mucho espacio y mayor cantidad de agua, si la densidad es muy alta genera estrés en los peces y afecta la ganancia de peso.

Ascencio *et al.* (2019) Compararon el peso de la tilapia en tres densidades de siembra en un sistema acuapónico y obtuvieron los siguientes resultados: el tratamiento que más ganancia de peso promedio tuvo fue el tratamiento 1 de menor densidad (50 peces/m<sup>3</sup>) y un peso promedio de 76.1 g en tres bloques, obteniendo el mayor peso en la repetición 3 con 90.7 g.

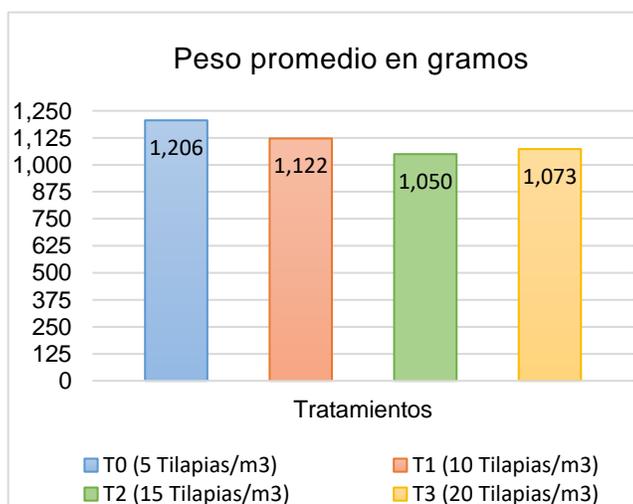


Figura 19. Peso promedio de las tilapias a los 112 días después de la siembra.

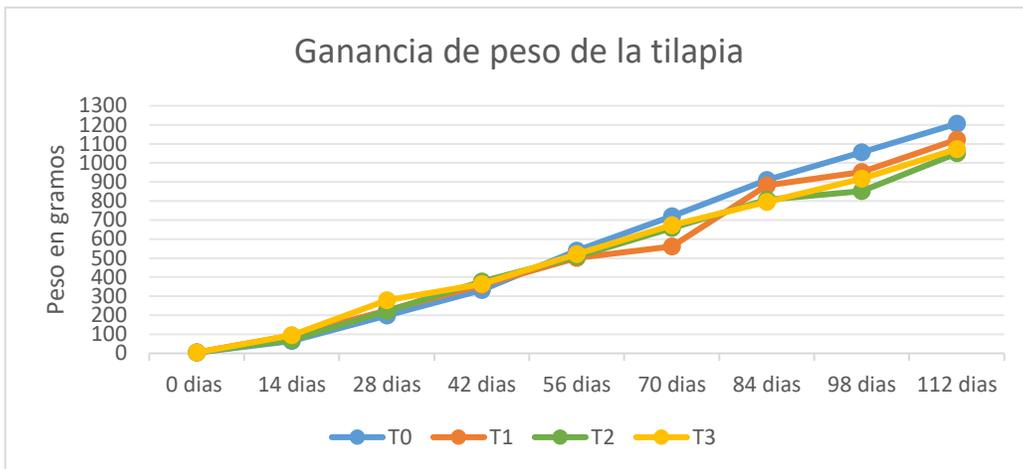


Figura 20. Peso promedio de las tilapias durante el ciclo productivo.



Figura 21. Tomando el peso de las tilapias.

Al efectuar el análisis de varianza y la prueba de Tukey, los datos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos (cuadro 8), donde el Testigo o Tratamiento 0 (1,206 g) fue superior a los demás tratamientos.

Cuadro 7. Análisis de varianza.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	f	P-Valor
Modelo	71360.60	3	23786.87	6.89	0.0034
Tratamientos	71360.60	3	23786.87	6.89	0.0034
Error	55203.20	16	3450.20		
Total	126563.80	19			

La prueba de Tukey demostró que el Testigo o Tratamiento 0 se comporta diferente a los demás tratamientos (nivel A); el Tratamiento 1 se comporta entre los niveles A y B; los

Tratamientos 3 y 2 se comportan en el nivel B; lo que significa que el Testigo presenta los mejores resultados, con un nivel de significancia  $p > 0.05$ .

Cuadro 8. Prueba de Tukey.

Tratamiento	Media	Unidad Experimental	Error Experimental	Nivel
0	1206.00	5	26.27	A
1	1122.40	5	26.27	A B
3	1072.80	5	26.27	B
2	1050.40	5	26.27	B

El alimento concentrado servido a los peces no era consumido en su totalidad, ya que al humedecerse se convertía en sedimento junto con la materia orgánica, alterando algunos parámetros de calidad de agua, lo que provoco un menor desarrollo en los peces de los tratamientos 2 y 3 que eran los que tenían mayor cantidad de peces.

Cárdenas (2012) encontró que la densidad de siembra de peces afecta directamente el desarrollo de los organismos en los sistemas de cultivo controlado, ya que entre mayor sean los organismos o la biomasa por  $m^3$ , es menor el tiempo que perduran las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia de la especie.



Figura 22. Fitoplancton (materia orgánica) acumulado en las jaulas.

FAO citado por Ascencio *et al.* (2019), menciona que el fitoplancton (plantas microscópicas del estanque) son las que producen oxígeno y hacen que la variable ganancia de peso se eleve y vuelva óptima.

Chimits, citado por Arévalo y Marín (2011), manifiesta que, en los primeros estadios de la tilapia, los alevines deben ser alimentados con concentrado balanceado con un contenido de 45% de proteína, a razón de 10 a 15% de la biomasa, distribuida entre 5 a 8 veces al día.

#### 4.2 Tamaño o talla de los peces

Según los resultados obtenidos en esta investigación a los 112 días después de la siembra de los alevines, el mayor tamaño promedio de los peces se obtuvo con el Testigo o Tratamiento 0 (5 tilapias/m<sup>3</sup>), el Tratamiento 1 (10 tilapias/m<sup>3</sup>) y el Tratamiento 3 (20 tilapias/m<sup>3</sup>) con 18 cm, y por último el Tratamiento 2 (15 tilapias/m<sup>3</sup>) con 17 cm.

Cuadro 9. Tamaño o talla promedio (cm) de las tilapias a los 112 días.

Fecha	Testigo o Tratamiento 0 (Densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (Densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (Densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (Densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
1 <sup>er</sup> muestreo	7.2	7.1	6.64	8.3
2 <sup>o</sup> muestreo	10.14	10.68	10.6	11.4
3 <sup>er</sup> muestreo	11.6	12	12.1	12.9
4 <sup>o</sup> muestreo	13.7	13.5	13.2	14.3
5 <sup>o</sup> muestreo	15.5	15.1	14.8	14.6
6 <sup>o</sup> muestreo	16.8	16.6	16.32	16.2
7 <sup>o</sup> muestreo	18	17	16	17
<b>Muestreo final</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>18</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Bolaños, citado por Núñez (2017), en una investigación con tilapia roja híbrida (*Oreochromis spp.*) cultivada en jaulas flotantes en ambiente marino, no encontró diferencia significativa entre las densidades de 80, 120 y 170 peces/m<sup>3</sup>; pero, la que presentó mejor crecimiento fue la de 80 peces/m<sup>3</sup>, solo machos.

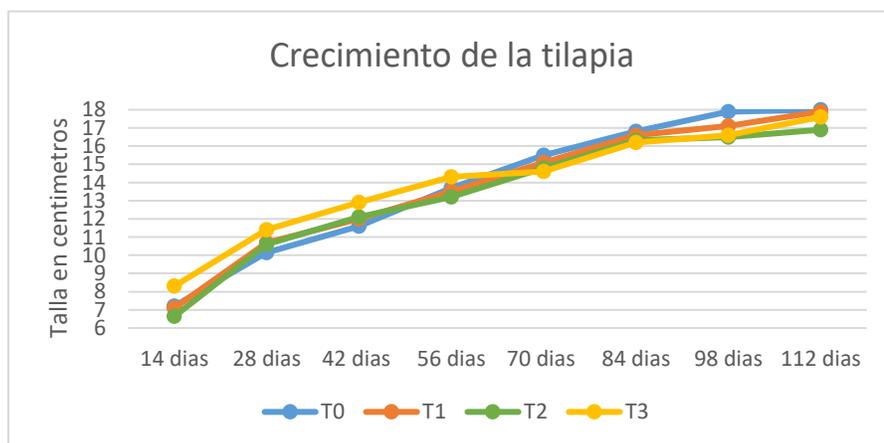


Figura 23. Tamaño promedio de las tilapias durante el ciclo productivo.

Al efectuar el análisis de varianza los datos demostraron que no hay diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos, es decir que ningún tratamiento se comporta de manera diferente.

Cuadro 10. Análisis de varianza.

Fuente de Variación	Sumatoria de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	f	P-Valor
Modelo	2.64	3	0.88	2.76	0.0763
Tratamientos	2.64	3	0.88	2.76	0.0763
Error	5.10	16	0.32		
Total	7.74	19			

La prueba de Tukey demostró que todos los tratamientos producen similares rendimientos debido a que están en el nivel A, es decir, no existe diferencia significativa entre tratamientos.

Cuadro 11. Prueba de Tukey.

Tratamiento	Media	Unidad Experimental	Error Experimental	Nivel
0	17.90	5	0.25	A
1	17.60	5	0.25	A
3	17.50	5	0.25	A
2	16.90	5	0.25	A



Figura 24. Medición del tamaño o talla de las tilapias.

Meyer y Mejía (1993) mencionan que para la alimentación de los peces en sus diferentes estadios de crecimiento se debe tener en cuenta el nivel de proteína con el que se obtiene el máximo crecimiento; y a medida que avanza el cultivo, este nivel de proteínas disminuye con el incremento del peso del pez.

### **4.3 Análisis físico y químicos del agua**

#### **4.3.1 Salinidad**

El agua del estanque al inicio de la investigación tenía un valor de salinidad de 0.0%, a medio ciclo productivo presentó valores de 0.1% y al final del ciclo del cultivo tenía salinidad de 0.0% (cuadro 13, 14 y 15).

De la Cruz (2012) menciona que a pesar de que las tilapias son peces de agua dulce, son capaces de adaptarse a vivir en aguas saladas, ya que son descendientes de una especie marina, las mismas, para un óptimo crecimiento y producción empiezan a decrecer cuando el equivalente del 50% excede en cuanto a la salinidad, cabe recalcar que las tilapias crecen pero no se reproducen en aguas saladas.

#### **4.3.2 Oxígeno disuelto**

Al inicio de la investigación el agua tenía un valor de oxígeno disuelto de 5.32 mg/l y a medio ciclo productivo entre 7.88 mg/l a 12.29 mg/l. Al final de la investigación no se pudo medir el oxígeno disuelto porque la sonda multiparámetros Hatch se le dañó el lente del electrodo que hace contacto con el agua (cuadro 13, 14 y 15).

NICOVITA (2012) menciona que los niveles de oxígeno ideal estarán por encima de 2 mg/l. La tilapia es capaz de sobrevivir en aguas con concentración de oxígeno disuelto menor de 0.3 mg/l.

#### **4.3.3 Sólidos totales disueltos**

Los sólidos totales al inicio de la investigación estuvieron entre 124 y 125 mg/l, a mitad del ciclo productivo fue entre 129.17 y 130.13 mg/l, y al final de la investigación entre 122.7 y 123.2 mg/l (cuadro 13, 14 y 15).

Cuando los sólidos disueltos están por arriba de 100 mg/L la concentración de oxígeno disuelto disminuye y el fitoplancton hace que el agua sea dura con alta concentración de minerales y materia orgánica.

NICOVITA (2012) en una investigación encontró que los sólidos ideales estarán entre 25 y 100 mg/L, que son estanques intermedios para crianza de tilapia.

#### **4.3.4 Conductividad eléctrica**

Al inicio de la investigación el agua del estanque tenía 282  $\mu\text{s}/\text{cm}$  de conductividad eléctrica; a mitad del ciclo productivo entre 292.33 y 294.67  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ; y al final entre 283 y 285  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (cuadro 13, 14 y 15).

Los resultados indican la alta concentración de sales presentes en el agua del estanque y que dañan el equipo de bombeo de agua hacia el estanque.

Montano y Vargas, citado por Sierra (2011), mencionan que la conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ , fosfatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Las aguas que tienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.

#### **4.3.5 pH**

El agua del estanque al inicio de la investigación tenía pH entre 6.40 y 6.70; a medio ciclo productivo entre 7.38 y 7.70, y al final de la investigación entre 7.15 y 7.28 (cuadro 13, 14 y 15).

NICOVITA (2014) menciona que el rango óptimo de pH para crianza de tilapia debe estar entre 6.5 a 9. Valores por encima o por debajo causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, retardan el crecimiento y retrasan la reproducción.

FAO, citado por Ascencio *et al.* (2019), menciona que los valores ideales de pH están en el rango de 6.5 a 9.

#### **4.3.6 Temperatura**

El agua del estanque al inicio de la investigación tenía temperaturas entre 29.40° C y 29.60° C, a medio ciclo productivo entre 30.37° C y 30.73° C, y al final de la investigación entre 30.20° C y 32.10° C (cuadro 13, 14 y 15).

Saavedra, citado por Ascencio *et al.* (2019), menciona que las temperaturas ideales para tilapia son entre 25° C y 32° C.

Colagrosso, citado por Ascencio *et al.* (2019), menciona que el rango óptimo de temperatura para la crianza de tilapia se encuentra en el rango entre 28° a 32° C. al igual que NICOVITA (2014) menciona que la temperatura ideal para el cultivo de tilapia estará entre 28° C y 32° C, los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, lo cual significa mayor consumo de oxígeno.

#### 4.3.7 Turbidez

La turbidez al inicio de la investigación no se registró porque no tenía fitoplancton el estanque, a mitad del ciclo productivo tenía valores entre 30 y 35 cm, y al final de la investigación no se realizó ninguna lectura debido al exceso de turbidez por partículas de alimento, excretas, materia orgánica y fitoplancton (cuadro 13, 14 y 15).

González y Mejía (2012) indican que la turbidez debe estar entre 25 a 35 cm de visibilidad, siempre que sea ocasionada por algas verdes no filamentosas y no por algas verde-azules ni lodo, es decir, el agua debe ser color verde esmeralda ocasionada por algas clorófitas, principalmente.

Cuadro 12. Parámetros físicos y químicos del agua al inicio de la investigación.

Parámetro	Testigo o Tratamiento 0 (Densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (Densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (Densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (Densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
Salinidad	0%	0%	0%	0%
Oxígeno disuelto	5.32 mg/L 77.5%	5.32 mg/L 77.5%	5.32 mg/L 77.5%	5.32 mg/L 77.5%
Sólidos Totales	124 mg/L	125 mg/L	124.5 mg/L	124.7 mg/L
Conductividad eléctrica	282 µs/cm	282 µs/cm	282 µs/cm	282 µs/cm
pH	6.68	6.70	6.50	6.40
Temperatura	29.55° C	29.60° C	29.40° C	29.50° C
Turbidez	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia (2021).

Cuadro 13. Parámetros físicos y químicos del agua a mitad de la investigación.

Parámetros	Testigo o Tratamiento 0 (Densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (Densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (Densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (Densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
Salinidad	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Oxígeno Disuelto	12.29 mg/L 160.8%	11.6 mg/L 146.8%	8.07 mg/L 106.7%	7.88 mg/L 103.3%
Sólidos Totales	129.50 mg/L	129.17 mg/L	129.90 mg/L	130.13 mg/L

Conductividad eléctrica	292.33 $\mu\text{s/cm}$	293.3 $\mu\text{s/cm}$	294 $\mu\text{s/cm}$	294.67 $\mu\text{s/cm}$
pH	7.70	7.57	7.38	7.44
Temperatura	30.73° C	30.53° C	30.37° C	30.43° C
Turbidez	35 cm	30 cm	30 cm	30 cm

Fuente: Elaboración propia (2021).

Cuadro 14. Parámetros físicos y químicos del agua al final de la investigación.

Parámetro	Testigo o Tratamiento 0 (Densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (Densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (Densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (Densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
Salinidad	0%	0%	0%	0%
Oxígeno Disuelto	-----	-----	-----	-----
Sólidos Totales	122.7 mg/L	122.7 mg/L	123.1 mg/L	123.2 mg/L
Conductividad eléctrica	283 $\mu\text{s/cm}$	284 $\mu\text{s/cm}$	284 $\mu\text{s/cm}$	285 $\mu\text{s/cm}$
pH	7.26	7.15	7.18	7.28
Temperatura	30.20° C	31.10° C	31.40° C	32.10° C
Turbidez	-----	-----	-----	-----

Fuente: Elaboración propia (2021).

Los análisis de los parámetros muestran una variabilidad en el desarrollo del cultivo pero no supera el límite superior permisible para la producción de tilapia, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, los parámetros físicos que se evaluaron, se considera que no influyeron en el peso y crecimiento de las tilapias.

#### 4.4 Análisis de metales pesados

##### 4.4.1 Arsénico

El agua que abastece al estanque es agua subterránea, y al inicio de la investigación tenía concentraciones de arsénico de 0.4778 ppm, a medio ciclo productivo de 0.1770 ppm y al final de la investigación 0.2580 ppm (cuadro 16).

Durante la investigación la concentración de arsénico en el Testigo o Tratamiento 0 fue de 0.9865 ppm, en el Tratamiento 1 de 0.7586 ppm, Tratamiento 2 de 0.7861 ppm y en el Tratamiento 3 de 0.7281 ppm (cuadro 17).

Los análisis realizados demuestran que hubo un aumento en la concentración de arsénico durante el desarrollo de la investigación, debido al arrastre de arsénico producido por las corrientes de agua.

Flores (2016), citado por Sager (2000), menciona que el agua subterránea contiene niveles de arsénico más altos que el agua superficial con 0.05 ppm a 0.2 ppm; que el arsénico puede penetrar a los organismos vivos a través del aire al respirar, por alimentos y agua de bebida, y que los alimentos son la fuente principal de arsénico.

Calderón (2018), citado por el Acuerdo Ministerial número 026-2009, menciona que el límite máximo permisible de arsénico en el agua es de 10 µg/l. Para las RTS. 2018. El límite máximo permisible es de 0.01 mg/l.

#### **4.4.2 Cobre**

La concentración de cobre durante la investigación se mantuvo en valores menores de 0.05 ppm (cuadro 16 y 17).

RTS 13.02.01:14 2018. Para el Reglamento Técnico Salvadoreño de agua potable. El nivel máximo permisible de cobre es de 2.0 mg/l.

#### **4.4.3 Plomo**

El agua que abastece al estanque al inicio de la investigación tenía concentraciones de plomo de 0.5988 ppm, a medio ciclo productivo de 0.9208 ppm y al final de la investigación 0.7978 ppm (cuadro 16).

Durante la investigación la concentración de plomo en el Testigo o Tratamiento 0 fue de 0.2296 ppm, en el Tratamiento 1 de 3.5719 ppm, Tratamiento 2 de 4.2312 ppm y en el Tratamiento 3 de 0.1082 ppm (cuadro 17). Variación de las concentraciones de plomo producto de la corrosión del metal utilizado para construcción de las jaulas

Calderón (2018), citado por el Acuerdo Ministerial número 026-2009, menciona que el límite máximo permisible de plomo en el agua es de 10 µg/l. Para las RTS 13.02.01:14 2018. El límite máximo permisible es de 0.01 mg/l.

#### **4.4.4 Zinc**

La concentración de zinc durante la investigación se mantuvo en valores menores de 0.05 ppm (cuadro 16).

Durante la investigación la concentración de zinc en el Testigo o Tratamiento 0 fue de 0.1698 ppm, en el Tratamiento 1 de 0.4231 ppm, Tratamiento 2 de 0.8928 ppm y en el Tratamiento 3 de 0.5811 ppm (cuadro 17). Concentraciones aceptables para el desarrollo del cultivo

Calderón (2018), citado por el Acuerdo Ministerial número 026-2009, menciona que el límite máximo permisible de zinc en el agua es de 2 mg/l. Según las RTS 13.02.01:14 2018. El límite máximo permisible es de 4.0 mg/l.

#### 4.4.5 Hierro

La concentración de hierro durante la investigación se mantuvo en valores menores de 0.20 ppm (cuadro 16 y 17). Estuvieron en valores por encima del límite permisible de hierro.

Martínez y Cano (2008), citado por CONACYT (1999), recomiendan valores de hierro entre 0.05 a 0.1 mg/l para el cultivo de tilapia. RTS 13.02.01:14 2018. Menciona que el límite máximo permisible es de 0.3 mg/l.

Cuadro 15. Resultados de los análisis de agua en la fuente de abastecimiento del estanque.

<b>Metal pesado</b>	<b>Muestreo 1 (ppm)</b>	<b>Muestreo 2 (ppm)</b>	<b>Muestreo 3 (ppm)</b>
Arsénico	0.4778	0.1770	0.2580
Cobre	Menos de 0.05	Menos de 0.05	Menos de 0.05
Plomo	0.5988	0.9208	0.7978
Zinc	Menos de 0.05	Menos de 0.05	Menos de 0.05
Hierro	Menos de 0.20	Menos de 0.20	Menos de 0.20

Fuente: Elaboración propia (2021).

Cuadro 16. Resultados de los análisis de agua en los tratamientos.

<b>Metal pesado</b>	<b>Testigo o Tratamiento 0 (densidad 5 tilapias/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tratamiento 1 (densidad 10 tilapias/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tratamiento 2 (densidad 15 tilapias/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tratamiento 3 (densidad 20 tilapias/m<sup>3</sup>)</b>
Arsénico (ppm)	0.9865	0.7586	0.7861	0.7281
Cobre (ppm)	Menos de 0.05	Menos de 0.05	Menos de 0.05	Menos de 0.05
Plomo (ppm)	0.2296	3.5719	4.2312	0.1082
Zinc (ppm)	0.1698	0.4231	0.8928	0.5811
Hierro (ppm)	Menos de 0.20	Menos de 0.20	Menos de 0.20	Menos de 0.20

Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, los parámetros químicos que se evaluaron, se considera que no influyeron en el peso y crecimiento de las tilapias.

#### 4.5 Análisis microbiológico del agua

Los resultados de los análisis del agua para bacterias Coliformes fecales demuestran contenidos entre 5.1 a mayor de 23 NMP/100 ml, lo cual indica que el agua no es apta para el consumo humano, pero si para la producción de tilapia (cuadro 18).

López *et al.* (2016), mencionan que el agua para consumo humano no debe contener bacterias coliformes fecales, pero en el agua para uso recreativo puede aceptarse la presencia de hasta 1,000 NMP/100 ml. Para las RTS 13.02.01:14 2018. El límite máximo permisible es de <1.1 NMP/ml.

Los resultados de los análisis de agua para *Escherichia coli* demuestran contenidos entre menos de 1.1 a mayor de 23 NMP/100 ml, lo cual indica que el agua no es apta para el consumo humano, pero si para la producción de tilapia (cuadro 18).

Romero (1999) menciona que el agua apta para consumo humano debe contener *Escherichia coli* en concentración menor a 1/100 ml, y para la producción de alimentos debe ser menor a 100/100 ml. Para las RTS 13.02.01:14 2018. El límite máximo permisible es de <1.1 NMP/ml.

López *et al.* (2016) menciona que el agua para consumo humano no debe contener *Escherichia coli*. Las bacterias coliformes se toman como indicadores de contaminación del agua porque provienen del tracto intestinal y materia fecal de las personas y los animales, sobreviven largo tiempo en el agua y son fáciles de detectar.

Cuadro 17. Resultados de los análisis microbiológicos del agua en el estanque.

Muestra	Parámetro	Testigo o Tratamiento 0 (densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
En la fuente de abastecimiento de agua	Coliformes fecales	5.1 NMP/100 mL	5.1 NMP/100 mL	5.1 NMP/100 mL	5.1 NMP/100 mL
	<i>Escherichia coli</i>	Menos de 1.1 NMP/100 mL	Menos de 1.1 NMP/100 mL	Menos de 1.1 NMP/100 mL	Menos de 1.1 NMP/100 mL
En los Tratamientos (módulos)	Coliformes fecales	Mayor de 23 NMP/100 mL	Mayor de 23 NMP/100 mL	Mayor de 23 NMP/100 mL	Mayor de 23 NMP/100 mL
	<i>Escherichia coli</i>	Mayor de 23 NMP/100 mL	Mayor de 23 NMP/100 mL	Mayor de 16 NMP/100 mL	Mayor de 16 NMP/100 mL

Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, los parámetros microbiológicos que se evaluaron, se considera que no influyeron en el peso y crecimiento de las tilapias.

#### 4.6 Presupuesto parcial

El análisis económico se realizó para calcular el costo beneficio de producción del cultivo de tilapia en cada uno de los tratamientos, tomando en cuenta únicamente los costos de la compra de los alevines y del alimento concentrado. Los resultados fueron: en el Testigo o Tratamiento 0 se obtuvo una ganancia neta de \$5.45 dólares, en el Tratamiento 1 fue de \$0.71 dólares y en el Tratamiento 2 de \$3.15 dólares; en el Tratamiento 3 se obtuvo una pérdida de \$11.14 dólares (cuadro 19).

Cuadro 18. Presupuesto parcial de la investigación.

<b>Componente</b>	<b>Testigo o Tratamiento 0 (dólares)</b>	<b>Tratamiento 1 (dólares)</b>	<b>Tratamiento 2 (dólares)</b>	<b>Tratamiento 3 (dólares)</b>
RM (Rendimiento promedio Lb)	17.82	25.58	37.49	31.45
RA (Rendimiento ajustado) (10%)	16.03	23.02	36.64	28.31
BBB (Beneficio Bruto de Campo) (Precio Campo x Rendimiento ajustado)	20.40	28.78	45.80	35.38
Costo del alimento	11.93	22.82	34.74	36.02
Costo del alevín	2.66	5.25	7.91	10.50
£ CV (Sumatoria de los costos que varían)	14.59	28.07	42.65	46.52
<b>BN (Beneficios Netos)</b>	<b>5.45</b>	<b>0.71</b>	<b>3.15</b>	<b>-11.14</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Además, se hizo un cálculo de la inversión realizada durante la investigación en lo relacionado con el consumo de agua, uso del estanque y la mano de obra para el manejo del cultivo, la cual fue de \$1,742.50 dólares (cuadro 20).

Cuadro 19. Inversión realizada durante la investigación.

<b>Actividad/insumo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (dólares)</b>	<b>Costo total (dólares)</b>
Preparación del estanque.	1 día	\$10.00	\$10.00
Manejo del cultivo hasta la cosecha	112 días	\$10.00	\$1,120.00
Consumo de agua (75 m <sup>3</sup> /semana, \$0.50/m <sup>3</sup> )	15 semanas	\$37.50/semana	\$562.50
Uso del estanque		\$50.00	\$50.00
		<b>Total</b>	<b>\$1,742.50</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

## 5 CONCLUSIONES

El mejor peso promedio de los peces se obtuvo con una densidad de 5 tilapias/m<sup>3</sup> (Testigo o Tratamiento 0) con 1,206 g (2.66 libras), seguido por el Tratamiento 1 con 10 tilapias/m<sup>3</sup> y un peso de 1,122 g (2.47 libras), a los 112 días (3 meses con 22 días) después de la siembra de los alevines.

El mayor crecimiento o talla promedio de los peces se obtuvo con las densidades de 5, 10 y 20 tilapias/m<sup>3</sup> (Testigo o Tratamiento 0, Tratamiento 1 y Tratamiento 3, respectivamente) con 18 cm, seguido por el Tratamiento 2 con 15 tilapias/m<sup>3</sup> con 17 cm, a los 3 meses con 22 días después de la siembra de los alevines.

El análisis físico, químico y microbiológico demostró que el agua utilizada en la investigación era apta para la producción de tilapia.

Con el Tratamiento 0 (5 tilapias/m<sup>3</sup>) se obtuvo una ganancia de \$5.45 dólares, seguido por el Tratamiento 2 (15 tilapias/m<sup>3</sup>) con \$3.15 dólares y por el Tratamiento 1 (10 tilapias/m<sup>3</sup>) con \$0.71 dólares; con el Tratamiento 3 (20 tilapias/m<sup>3</sup>) se obtuvo pérdidas de \$-11.14 dólares.

Por la alta capacidad de adaptación que muestran a diferentes condiciones climáticas las tilapias (*Oreochromis niloticus*) pueden ser producidas por los productores de las zonas costeras del país.

Por el dimorfismo sexual presente en las tilapias los machos crecen más que las hembras en un mismo periodo productivo.

## 6 RECOMENDACIONES

En estanques artesanales utilizar densidades de siembra de 5 tilapias por metro cubico para mejorar los rendimientos del cultivo, ya que la tilapia tiene menos competencia de espacio y por el alimento.

La compra de los alevines de tilapia se debe realizar en las primeras horas de la mañana, para reducir el estrés y lograr el mayor porcentaje de supervivencia a la hora de efectuar la siembra.

Para la producción y comercialización de tilapia se debe utilizar de preferencia tilapia supermacho porque garantiza que la población de individuos se mantenga y desarrolle mejor.

Para que el alimento concentrado sea mejor aprovechado por las tilapias se debe de proporcionar en cuatro raciones al día en horarios de 7:00 am, 10:00 am, 1:00 pm y 4:00 pm.

Los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua de los estanques para crianza de tilapia se deben realizar periódicamente para controlar la calidad y tomar las medidas correctivas en su momento para una saludable y mayor producción del cultivo.

La tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) es la especie que se debe de utilizar en El Salvador para la producción y comercialización por su carne nutritiva y su fácil adaptación a las condiciones ambientales para su desarrollo.

Realizar investigaciones en otras zonas y condiciones climáticas para la producción de tilapia.

Hacer análisis bromatológico en la carne de la tilapia para conocer su valor nutricional.

Utilizar diferentes mecanismos de oxigenación del agua para el desarrollo de otras investigaciones en tilapia.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo Ministerial no. 026-2009. 2009. Programa de control y monitoreo de contaminantes microbiológicos, sustancias químicas y características físicas del agua a ser utilizada en establecimientos de productos hidrobiológicos. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de normas y regulaciones. 10 p.
- Alamilla T, H. 2004. Densidad de siembra en tilapia. México (en línea). Consultado el 23 de mayo de 2018. Disponible en:  
<http://zoetecnocampo.com/foroacua/Forum4/HTML/000024.html>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, United States). 1980. Official Methods of Analysis. Washington, DC (en línea). Consultado el 11 de septiembre de 2019. Disponible en: <http://archive.org/details/gov.law.aoac.methods.1980>.
- Arévalo V, TJ; Marín, AG. 2011. Comparación del rendimiento del cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) utilizando machos reversados versus machos genéticamente mejorados (supermacho) criados en sistema intensivo. Tesis Ing. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador (en línea). Consultado el 22 marzo de 2018. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/7179/1/50107585.pdf>
- Ascencio Q, SV; Del Valle C, GE; Velásquez A, GA. 2019. Evaluación de un modelo de Acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador. Tesis Ing. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador (en línea). Consultado el 16 abril de 2018. Disponible en:  
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19029/1/13101681.pdf>
- Bautista, JC; Ruiz, JM. 2011. Calidad del agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, México (en línea). Consultado el 5 de mayo de 2018. Disponible en: <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>.
- Cabrera, T; Jay, D; Alceste, C. 2001. Actualización del cultivo de tilapia en el mundo. VI congreso Ecuatoriano de Acuicultura y V congreso latino americano de acuicultura. Ecuador. 28 p.

Cantor Atlatenco, F. 2007. Manual de producción de tilapia. Estado de Puebla, México (en línea). Consultado el 8 de septiembre de 2018. Disponible en: <https://es.slideshare.net/JCAMILOMOR/manual-de-produccion-de-tilapia>.

Cárdenas D, PE. 2012. Crecimiento y supervivencia de tilapia roja híbrida (*Oreochromis spp.*) cultivadas en jaulas flotantes en ambiente marino. Maestro en ciencias agropecuarias, Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa (en línea). Consultado el 23 de julio de 2019. Disponible en: <https://es.slideshare.net/GaloDvila/crecimiento-y-supervivencia-de-tilapia-roja-hbrida-oreochromis-spp-cultivada-en-jaulas-flotantes-en-ambiente-marino>.

Castillo C, LF. 2011. Una evolución de 29 años de la incertidumbre al éxito. Cali, Valle, Colombia (en línea). Consultado el 12 de mayo de 2018. Disponible en: <https://ag.arizona.edu/azaqua/ista/reports/TILAPIAROJA2010.doc>.

CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador). 2008. Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia. El Salvador (en línea). Consultado el 15 de marzo de 2018. Disponible en: <http://www.transparencia.gob.sv/institutions/mag/documents/119824/download>.

CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador); Misión Técnica Taiwán. 2013. Manual de Procedimientos Técnicos Operativos y Respuesta a Emergencias sobre el Manejo de Alevines Reversados de Tilapia. Atiocoyo, El Salvador 22 p.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina, Chile). 2018. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile (en línea). Consultado el 13 de mayo de 2018. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/10/S1700334\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/10/S1700334_es.pdf).

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador). 1999. Norma Salvadoreña de calidad del agua envasada. El Salvador. Agua: Agua Embazada. p 7.

De la Cruz P, PA. 2012. Estudio de pre-factibilidad para la producción de tilapia roja y su comercialización en Quito. Tesis de grado. Ingeniería de empresas. Facultad de Ciencias Económicas y Negocios. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador (en línea). Consultado el 8 de febrero de 2021. Disponible en: [www.http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/1/45656\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/1/45656_1.pdf).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italia). 2009. Cultured aquatic species fact sheets. *Oreochromis niloticus* (linnaeus, 1758) (en línea). Consultado el 06 de marzo de 2018. Disponible en: [http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es\\_niletilapia.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletilapia.htm)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. La FAO y los 17 objetivos de desarrollo sostenible (en línea). Consultado 15 febrero. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/es/c/2d609d2f-9662401d-b1fc-1a346e9bfac5/>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); ONU (Organización de las Naciones Unidas, Estados Unidos). 2017. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. New York, USA (en línea). Consultado el 25 de febrero de 2018. Pag 6, 12. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017Spanish.pdf>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia); TECA (Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios, Italia). 2017. Diseño de un sistema acuaponico (en línea). Consultado 15 de febrero del 2020. Disponible en <http://teca.fao.org/es/read/8725>.

Gómez, B. 2005. Cultivo de tilapia. Manual para la Construcción de jaulas y corrales. SEDAP, Jalapa, Veracruz. 47 p (en línea). Consultado 12 de mayo de 2018 Disponible en: <http://tilapiasdelsur.com.ar/downloads/Cultivodetilapiaenestanquesrusticos.pdf>.

González, C; Mejía D, JB. 2012. Manual de Procedimientos de Producción de Tilapia, Impresos Múltiples, Washington D.C., Estados Unidos (en línea). Consultado el 25 de agosto de 2018. 64 p. Disponible en:  
[http://www.robertoaguiluz.com/clients/PDP\\_final/docs/more/tilapia.pdf](http://www.robertoaguiluz.com/clients/PDP_final/docs/more/tilapia.pdf).

López Sardi, EM; García, B; Reynoso, Y; González, P; Larroudé, V. 2016. Calidad del agua para usos recreativos desde la perspectiva de la seguridad e higiene laboral y la salud pública. Universidad de Palermo. Italia (en línea). Consultado el 20 marzo de 2018. Disponible en: [http://www.palermo.edu/ingenieria/investigacion-desarrollo/pdf/Trabajo\\_Completo\\_Lopez\\_Sardi\\_Estela\\_Monicav3.pdf](http://www.palermo.edu/ingenieria/investigacion-desarrollo/pdf/Trabajo_Completo_Lopez_Sardi_Estela_Monicav3.pdf).

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). s.f. Programa de Alimentación Familiar (PAF). Caracterización de la cadena productiva de acuicultura (en línea) Consultado el 20 de marzo de 2018. Disponible en: [www.simag.mag.gob.sv](http://www.simag.mag.gob.sv).

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2001. Guía para el cultivo de tilapia en estanques (en línea) Consultado el 04 de marzo 2018. Disponible en: <http://www.tilapiasdelsur.com.ar/downloads/GuiaTecnicaTilapiadeElSalvador.pdf>

Maravilla Alfaro, JA; Ulloa Moreno, JM; Navarrete Abarca, FJ. 2005. Estudio de factibilidad técnico-económica para el cultivo de peces tilapia roja en jaulas flotantes, del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del ramo de agricultura y ganadería aplicable en el lago de Ilopango. Universidad de El Salvador. Tesis. Licenciado en Administrador de Empresas. San Salvador.

Mark, LM; Dozier, CM. 2021. Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso, El Sistema Universitario Texas A&M, cooperativas de Texas extensión Estados Unidos, en línea 27 de enero de 2021, disponible en <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/l5451sironandman.pdf>

Martínez Argueta, AA; Zelada Guevara, CA; Herrera Martínez, ME. 2005. Creación de un modelo de Sistemas de Información Geográficos (SIG) para una finca, caso Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Tesis Ing. Agr. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador. 98 p.

Meyer, D; Mejía, S. 1993. Utilización de cuatro fuentes de nutrientes en el cultivo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*). Actas del Simposio de Investigación Acuícola en Latinoamérica. Pradepesca. Universidad Nacional de Heredia de Costa Rica. 28p.

NICOVITA Alicorp. 2014. Manual de crianza de tilapia. Condiciones y parámetros de cultivo. 3, 6-15 p. Lima, Perú (en línea). Consultado el 11 de marzo. Disponible en: <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>.

Núñez Bustamante, W. 2017. Efecto de cuatro densidades de cultivo *Oreochromis niloticus* (tilapia) en fase de crecimiento, sobre los parámetros bioeconómicos. Ingeniería en Zootecnia. Tingo María. Perú. Universidad Nacional Agraria de La Selva (en línea) consultado el 15 de julio de 2019. Disponible en: [http://45.5.56.154/bitstream/handle/UNAS/1193/NBW\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://45.5.56.154/bitstream/handle/UNAS/1193/NBW_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Pérez Castillo, C; Shinomi, Y. s.f. Manejo integral de cuencas hidrográficas. Chile (en línea). Consultado el 3 de marzo de 2018. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32793.pdf>.

Romero R, JA. 1999. Calidad del agua, análisis físico, químico y microbiológico del agua, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, grupo editor alfa y omega México, 2<sup>da</sup> edición, México D. F. p 61-156.

RTS 13.02.01:14 (Reglamento Técnico Salvadoreño). OSARTEC (Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, El Salvador). 2018. Agua. Agua de consumo humano. Requisito de calidad e inocuidad. El Salvador. Diario Oficial No. 60, Tomo No. 419. 6 p.

Saavedra, MA. 2006 Texto de asignatura Producción Agropecuaria y acuícola carrera Ingeniería Industrial Departamento de tecnología y ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua. 5 p.

Sager, RL. 2000. Agua para bebida para bovinos. INTA E.E.A San Luis. Reedición de la Serie Técnica N° 126. Argentina (en línea). Consultado el 7 febrero. 2021. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México). 2012. Informe de la situación del Medio Ambiente. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y Desempeño Ambiental. Edición 2012. México (en línea). Consultado el 8 de marzo de 2018. Disponible en:

[http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/06\\_agua/cap6\\_3.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_3.html).

Shimadzu Corporation. s.f. Japanese Industrial Standard JIS K-102-1993. Testing methods for industrial waste water Environmental standard concerning water contamination. s.p.

Sierra, CA. 2011. Calidad del agua, evaluación y diagnóstico. Ed. LD López. Bogotá, Colombia. Digiprint. 457 p.

USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). 2006. Manual. Manejo del cultivo de tilapia. Nicaragua (en línea). Consultado el 12 de mayo de 2018. Disponible en: [www.crc.uri.edu](http://www.crc.uri.edu).

Watanabe, WO; Losordo, TM; Fitzsimmons, K; Hanley, F. 2002. Tilapia Production Systems in the Americas: Technological Advances, Trends, and Challenges. Reviews in Fisheries Science. Estados Unidos. Volumen 10. 465 p (en línea). Consultado el 20 de marzo de 2018. Disponible en:

[https://articles.extension.org/sites/default/files/w/6/63/Tilapia\\_Production\\_systems\\_in\\_the\\_Americas,\\_Technological\\_Ad.pdf](https://articles.extension.org/sites/default/files/w/6/63/Tilapia_Production_systems_in_the_Americas,_Technological_Ad.pdf).

## 8 ANEXOS

Figura A-1. Análisis de varianza del peso de tilapias a los 112 días después de la siembra.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso	20	0.56	0.48	5.28

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	71360.60	3	23786.87	6.89	0.0034
Tratamiento	71360.60	3	23786.87	6.89	0.0034
Error	55203.20	16	3450.20		
Total	126563.80	19			

Figura A-2. Prueba de Tukey del peso de tilapias a los 112 días después de la siembra.

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=106.28525**

Error: 3450.2000 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	1206.00	5	26.27	A
2	1122.40	5	26.27	A B
4	1072.80	5	26.27	B
3	1050.40	5	26.27	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Figura A-3. Análisis de varianza del crecimiento de tilapias a 112 días después de siembra.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Talla	20	0.34	0.22	3.23

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.64	3	0.88	2.76	0.0763
Tratamiento	2.64	3	0.88	2.76	0.0763
Error	5.10	16	0.32		
Total	7.74	19			

Figura A-4. Prueba de Tukey del crecimiento de tilapias a 112 días después de la siembra.

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.02159**

Error: 0.3188 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2	17.90	5	0.25	A
4	17.60	5	0.25	A
1	17.50	5	0.25	A
3	16.90	5	0.25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Figura A-5. Resultados de los análisis microbiológicos de la fuente de agua de abastecimiento del estanque.



**CENSALUD**  
Centro de Investigación y Desarrollo en Salud  
Universidad de El Salvador

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**

---

Ciudad Universitaria, Final 25 Avenida Norte, San Salvador, El Salvador. Teléfono No. (503) 2511-2028

**INFORME DE ANÁLISIS**

Nombre de la muestra: AGUA DE POZO Código: 20190225-03

Punto de muestreo: Fuente de abastecimiento (caída al estanque)

Procedencia: San Luis Talpa, La Paz

Solicitante: Josué Eduardo Gutiérrez Salguero Fecha de emisión: 20-03-2019  
 Determinación de Coliformes Fecales y E. coli por el Método del Número más Probable

Método: (NMP)

Fecha de Muestreo: 25-02-19 Hora de Muestreo: 8:40 am

Persona que tomó la muestra: Amílcar Segundo Coreas Madrid

---

Descripción: Líquido incoloro, transparente, sin olor.

---

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Bacterias coliformes fecales	5.1 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	< 1.1 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL

**NMP:** Número más Probable; **UFC:** Unidades formadoras de Colonias; **mL:** mililitro(s) de muestra

**OBSERVACIONES:**

\* Especificaciones basadas en la Norma NSO 13.07.01:08 "Agua. Agua Potable".

- El informe corresponde únicamente a la muestra remitida y ensayada el 25/02/2019.



MSc. Amy Elieth Morán Rodríguez  
QUIMICO-FARMACEUTICA



Fecha de análisis: 25-02-2019

Figura A-6. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Testigo o Tratamiento 0.



**CENSALUD**  
Centro de Investigación y Desarrollo en Salud  
Universidad de El Salvador

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**

---

Ciudad Universitaria, Final 25 Avenida Norte, San Salvador, El Salvador. Teléfono No. (503) 2511-2028

**INFORME DE ANÁLISIS**

Nombre de la muestra: AGUA DE ESTANQUE (5T/m2) Código: 20190619-02

Punto de muestreo: Estanque

Procedencia: San Luis Talpa, La Paz

Solicitante: Josué Eduardo Gutiérrez Salguero Fecha de emisión: 03-07-2019  
 Determinación de Coliformes Totales, Fecales y E. coli por el Método del Número más Probable (NMP),

Método: Probable (NMP)

Fecha de Muestreo: 18-06-2019 Hora de Muestreo: 2:00 pm

Persona que tomó la muestra: Amilcar Eduardo Guitérrez Salguero

---

Descripción: Líquido incoloro, con residuos, sin olor.

---

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Bacterias coliformes fecales	> 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	> 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL

**NMP:** Número más Probable; **UFC:** Unidades formadoras de Colonias; **mL:** mililitro(s) de muestra

**OBSERVACIONES:**  
 \* Especificaciones basadas en la Norma NSO 13.07.01:08 "Agua. Agua Potable".  
 - El informe corresponde únicamente a la muestra remitida y ensayada el 19/06/2019.



MSc. Amy Elieth Morán Rodríguez  
QUIMICO-FARMACEUTICA



Fecha de análisis: 19-06-2019

Figura A-7. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Tratamiento 1.



**CENSALUD**  
Centro de Investigación y Desarrollo en Salud  
Universidad de El Salvador

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**

---

Ciudad Universitaria, Final 25 Avenida Norte, San Salvador, El Salvador. Teléfono No. (503) 2511-2028

**INFORME DE ANÁLISIS**

Nombre de la muestra: AGUA DE ESTANQUE (10T/m2) Código: 20190619-01

Punto de muestreo: Estanque

Procedencia: San Luis Talpa, La Paz

Solicitante: Josué Eduardo Gutiérrez Salguero Fecha de emisión: 03-07-2019  
 Determinación de Coliformes Totales, Fecales y E. coli por el Método del Número más Probable (NMP),

Fecha de Muestreo: 18-06-2019 Hora de Muestreo: 2:00 pm

Persona que tomó la muestra: Amílcar Eduardo Gutiérrez Salguero

---

Descripción: Líquido incoloro, con residuos, sin olor.

---

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Bacterias coliformes fecales	> 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	> 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL

**NMP:** Número más Probable; **UFC:** Unidades formadoras de Colonias; **mL:** mililitro(s) de muestra

**OBSERVACIONES:**  
 \* Especificaciones basadas en la Norma NSO 13.07.01:08 "Agua. Agua Potable".  
 - El informe corresponde únicamente a la muestra remitida y ensayada el 19/06/2019.



MSc. Amy Elieth Morán Rodríguez  
QUIMICO-FARMACEUTICA



Fecha de análisis: 19-06-2019

Figura A-8. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Tratamiento 2.



**CENSALUD**  
Centro de Investigación y Desarrollo en Salud  
Universidad de El Salvador

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**

---

Ciudad Universitaria, Final 25 Avenida Norte, San Salvador, El Salvador. Teléfono No. (503) 2511-2028

**INFORME DE ANÁLISIS**

Nombre de la muestra: AGUA DE ESTANQUE (15T/m2) Código: 20190619-03

Punto de muestreo: Estanque

Procedencia: San Luis Talpa, La Paz

Solicitante: Josué Eduardo Gutiérrez Salguero Fecha de emisión: 03-07-2019  
 Determinación de Coliformes Totales, Fecales y E. coli por el Método del Número más  
 Método: Probable (NMP),

Fecha de Muestreo: 18-06-2019 Hora de Muestreo: 2:00 pm

Persona que tomó la muestra: Amilcar Eduardo Guitérrez Salguero

---

Descripción: Líquido incoloro, con residuos, sin olor.

---

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Bacterias coliformes fecales	> 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	> 16 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL

**NMP:** Número más Probable; **UFC:** Unidades formadoras de Colonias; **mL:** mililitro(s) de muestra

**OBSERVACIONES:**  
 \* Especificaciones basadas en la Norma NSO 13.07.01:08 "Agua. Agua Potable".  
 - El informe corresponde únicamente a la muestra remitida y ensayada el 19/06/2019.



MSc. Amy Elieth Morán Rodríguez  
QUIMICO-FARMACEUTICA



Fecha de análisis: 19-06-2019

Figura A-9. Resultados de los análisis microbiológicos del agua al final del ciclo productivo en el Tratamiento 3.



**CENSALUD**  
Centro de Investigación y Desarrollo en Salud  
Universidad de El Salvador

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**

---

Ciudad Universitaria, Final 25 Avenida Norte, San Salvador, El Salvador. Teléfono No. (503) 2511-2028

**INFORME DE ANÁLISIS**

Nombre de la muestra: AGUA DE ESTANQUE (20T/m2) Código: 20190619-04

Punto de muestreo: Estanque

Procedencia: San Luis Talpa, La Paz

Solicitante: Josué Eduardo Gutiérrez Salguero Fecha de emisión: 03-07-2019  
 Determinación de Coliformes Totales, Fecales y E. coli por el Método del Número más Probable (NMP),

Método: Probable (NMP),

Fecha de Muestreo: 18-06-2019 Hora de Muestreo: 2:00 pm

Persona que tomó la muestra: Amilcar Eduardo Guitérrez Salguero

---

Descripción: Líquido incoloro, con residuos, sin olor.

---

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Bacterias coliformes fecales	> 23 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	> 16 NMP / 100 mL	< 1.1 NMP / 100 mL

**NMP:** Número más Probable; **UFC:** Unidades formadoras de Colonias; **mL:** mililitro(s) de muestra

**OBSERVACIONES:**  
 \* Especificaciones basadas en la Norma NSO 13.07.01:08 "Agua. Agua Potable".  
 - El informe corresponde únicamente a la muestra remitida y ensayada el 19/06/2019.



MSc. Amy Elieth Morán Rodríguez  
QUIMICO-FARMACEUTICA



Fecha de análisis: 19-06-2019

Figura A-10. Toma de datos durante el ciclo productivo de tilapia (112 días).

Fecha	Toma de datos	Testigo o Tratamiento 0 (Densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (Densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (Densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (Densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
		Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
15/11/2019	1 <sup>a</sup>	64	109	72	94
		84	92	77	112
		73	132	70	82
		55	72	67	98
		48	62	60	89
<b>Promedio</b>		<b>65</b>	<b>93</b>	<b>69</b>	<b>95</b>
29/11/2019	2 <sup>a</sup>	208	220	146	338
		260	210	246	243
		156	219	226	271
		179	232	274	323
		193	245	216	220
<b>Promedio</b>		<b>199</b>	<b>225</b>	<b>222</b>	<b>279</b>
13/12/2019	3 <sup>a</sup>	363	419	407	397
		363	354	352	471
		369	390	432	334
		298	332	348	368
		268	304	346	247
<b>Promedio</b>		<b>332</b>	<b>360</b>	<b>377</b>	<b>368</b>
27/12/2019	4 <sup>a</sup>	553	422	568	556
		574	553	538	497
		566	566	556	467
		533	553	515	521
		471	415	363	558
<b>Promedio</b>		<b>539</b>	<b>502</b>	<b>508</b>	<b>522</b>
10/1/2020	5 <sup>a</sup>	620	758	682	718
		774	664	722	648
		738	664	676	594
		772	714	700	774
		692	730	508	632
<b>Promedio</b>		<b>719</b>	<b>706</b>	<b>658</b>	<b>673</b>
24/1/2020	6 <sup>a</sup>	953	933	885	935
		918	903	731	719
		885	895	847	699
		839	855	867	771
		956	823	707	855
<b>Promedio</b>		<b>910</b>	<b>882</b>	<b>807</b>	<b>796</b>
7/2/2020	7 <sup>a</sup>	1,108	922	888	950
		1,048	914	902	768
		1,036	912	830	978
		1,104	998	818	972
		984	1,012	826	920
<b>Promedio</b>		<b>1,056</b>	<b>952</b>	<b>853</b>	<b>918</b>

21/02/2020	8ª	1,244	1,126	1,046	1,044
		1,122	1,022	1,024	964
		1,220	1,198	1,030	1,058
		1,224	1,108	1,092	1,124
		1,220	1,158	1,060	1,174
<b>Promedio</b>		<b>1,206</b>	<b>1,122</b>	<b>1,050</b>	<b>1,073</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Figura A-11. Promedio del crecimiento o talla de las tilapias a los 112 días.

Fecha	Toma de datos	Testigo o Tratamiento 0 (Densidad 5 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 1 (Densidad 10 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 2 (Densidad 15 tilapias/m <sup>3</sup> )	Tratamiento 3 (Densidad 20 tilapias/m <sup>3</sup> )
		talla (cm)	talla (cm)	talla (cm)	talla (cm)
15/11/2019	1	6.5	7.5	7	8
		8	8	6	7.5
		8	8	7	9
		6.5	6	6.5	8.5
		7	6	6.7	8.5
<b>Promedio</b>		<b>7.2</b>	<b>7.1</b>	<b>6.64</b>	<b>8.3</b>
29/11/2019	2	11	10.5	9.4	11
		11.2	10	11	12
		9	11	10.5	11.5
		8.5	10.1	11	12
		11	11.8	11.1	10.5
<b>Promedio</b>		<b>10.14</b>	<b>10.68</b>	<b>10.6</b>	<b>11.4</b>
13/12/2019	3	11.5	12	12.5	13.5
		12	12	12	13
		11.5	11.5	11.5	13.5
		12.5	12	11.5	12.5
		10.5	12.5	13	12
<b>Promedio</b>		<b>11.6</b>	<b>12</b>	<b>12.1</b>	<b>12.9</b>
27/12/2019	4	14	13	13	12
		13.5	13.5	13	17.5
		13.5	13.5	14.5	14
		13.5	13.5	13.5	14.5
		14	14	12	13.5
<b>Promedio</b>		<b>13.7</b>	<b>13.5</b>	<b>13.2</b>	<b>14.3</b>
10/1/2020	5	14.5	14.5	16	14.5
		16	14.5	15	15
		15.5	15	13	15
		15.5	14.5	15.5	15.5
		16	17	14.5	13
<b>Promedio</b>		<b>15.5</b>	<b>15.1</b>	<b>14.8</b>	<b>14.6</b>
		16.5	17	16	17
		17	17	16.6	16.5

24/1/2020	6	17	16.5	16.5	16
		16.5	16	16.5	15.5
		17	16.5	16	16
<b>Promedio</b>		<b>16.8</b>	<b>16.6</b>	<b>16.32</b>	<b>16.2</b>
7/2/2020	7	18	16.5	16.5	16.5
		17.5	17.5	16	16.5
		17.5	17	16.5	17
		19.5	17.5	15.5	17
		17	17	16	16
<b>Promedio</b>		<b>18</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
21/02/2020	8	17.5	17	16.5	17.5
		17.5	17.5	17.5	17.5
		17.5	18.5	17	18
		16.5	18	16.5	18
		18.5	18.5	17	17
<b>Promedio</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>18</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).