



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ciencias de Ingeniería en Biosistemas

Desarrollo de un sistema para la obtención de variedades de  
*Oreochromis* mediante hibridación

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestra en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

Auryn Rebeca Enciso López

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Dr. Juan Fernando García Trejo  
Presidente

Dra. Claudia Gutiérrez Antonio  
Secretario

Dr. Oscar Alatorre Jácome  
Vocal

Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón  
Suplente

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez  
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario (Enero, 2020)  
México

Esta tesis está dedicada a mis padres y mi hermana

Ustedes son la razón de lo que soy actualmente

Gracias por su apoyo y por ser mi ejemplo a seguir

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero al Dr. Juan Fernando García Trejo, quien me orientó a través de mis estudios de maestría. Igualmente agradezco a todos mis compañeros del Laboratorio de Bioingeniería, especialmente al próximamente Dr. Samuel López, al MBM René Barón, y al Ing. César Hernández por siempre apoyarme cuando más lo necesité. Así como a las Dras. Angélica Feregrino y Claudia Gutiérrez por mostrarme que si es posible tenerlo todo.

Al Honorable Cuerpo Académico de Ingeniería de Biosistemas de la Universidad Autónoma de Querétaro: Dra. Rosario Guzmán, Dr. Genaro Soto, Dr. Enrique Rico, Dr. Ramón Guevara, Dr. Irineo Torres y Dr. Oscar Alatorre.

A los administrativos, docentes, alumnos y compañeros de trabajo de la Universidad Autónoma de Querétaro que trabajan diariamente por la excelencia académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero otorgado para llevar a cabo la presente investigación.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## ÍNDICE

1. Introducción	1
La acuicultura y el cultivo de tilapia	1
Sobre el problema y la oportunidad que genera	3
2. Antecedentes	4
2.1. Cultivo de tilapia	4
2.2. Sistemas de producción de tilapia	6
2.3. Hibridación de tilapia	8
2.4. Cultivo monosexo	9
2.4.1. Diferenciación gonadal de tilapia	10
2.5. Parámetros fisicoquímicos	14
3. Hipótesis	17
4. Objetivos	18
4.1. Objetivo general	18
4.2. Objetivos particulares	18
5. Metodología	19
5.1. Diseño del sistema de alevinaje	21
5.2. Construcción del sistema de recirculación acuícola	21
5.3. Pruebas de instalación	22
5.4. Medición de características físico-químicas de agua de Amazcala	22
5.5. Validación con tilapia	24
5.6. Biometrías en tilapia	25
5.7. Determinación de parámetros productivos	26
5.8. Diseño experimental	26
5.9. Análisis estadístico	26
6. Resultados y discusión	27
6.1. Ingeniería de detalle del proyecto	28
6.2. Características climáticas del sitio de experimentación	31
6.3. Levantamiento topográfico	32
6.4. Diseño del sistema de incubación y eclosión	33
6.5. Construcción del sistema acuícola	38
6.6. Validación del sistema en vacío	43
6.7. Validación del sistema con tilapia	46
6.8. Calidad del agua	55
6.9. Reversión sexual	57
6.10. Estudio financiero	59
7. Conclusiones	61
8. Literatura citada	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cruzamiento Mendeliano de la tilapia con efecto de las reversiones sexuales	13
Tabla 2. Ingeniería de proceso del sistema acuícola para la producción de alevines de tilapia	20
Tabla 3. Alimentación según la etapa de cultivo	25
Tabla 4. Densidad de siembra de acuerdo a la edad de los organismos y su biomasa esperada	25
Tabla 5. Elementos utilizados en el sistema de control	39
Tabla 6. Elementos utilizados en el sistema de incubación y alevinaje	40
Tabla 7. Características del agua de Ixmiquilpan, Hidalgo	46
Tabla 8. Parámetros de producción	49
Tabla 9. ANOVA de dos vías para peso	52
Tabla 10. ANOVA de dos vías para longitud	53
Tabla 11. Monitoreo de calidad del agua	56
Tabla 12. Proyecto de inversión	59
Tabla 13. Estudio financiero	60

Dirección General de Bibliotecas UACJ

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismo potencial de la diferenciación gonadal en tilapia	12
Figura 2. Funcionamiento de P450	12
Figura 3. Mecanismo de acción de estrógenos exógenos agregados artificialmente a tilapia que aún no define sus características sexuales	13
Figura 4. Etapas del proyecto de tesis	18
Figura 5. Diagrama de flujo de la ingeniería de detalle del proyecto	28-30
Figura 6. Temperatura máxima, mínima y media de la localidad de Amazcala	31
Figura 7. Traslape de invernadero acuícola en UAQ Campus Amazcala	32
Figura 8. Sistema de acuicultura (Planta)	34
Figura 9. Sistema acuícola (Corte A-A')	35
Figura 10. Sistema de acuicultura (Corte B-B' y Corte C-C')	36
Figura 11. Diseño de la potencia del sistema de control	37
Figura 12. Prototipo de sistema de alevinaje	40
Figura 13. Sistema de control	41
Figura 14. Sistema instalado en estanques del invernadero acuícola de la UAQ Amazcala	42
Figura 15. Monitoreo de la temperatura del agua con control térmico y sin control térmico	44
Figura 16. Monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto en el agua, sistema en condiciones de vacío	45
Figura 17. Monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto en el agua, sistema con alevines	46
Figura 18. Sistema de incubación portátil con huevo de tilapia	47
Figura 19. Sistema de incubación con organismos en etapa de huevo y larva de tilapia	48
Figura 20. Gráfico de ganancia de peso promedio por semana por estanque	50
Figura 21. Análisis ANOVA para peso por estanque a lo largo del experimento con intervalos de error estándar	51
Figura 22. Análisis ANOVA para longitud por estanque a lo largo del experimento con intervalos de error estándar	52
Figura 23. Gráfico de modelo ajustado de Peso vs. Longitud de estanque 1	54
Figura 24. Gráfico de modelo ajustado de Peso vs. Longitud de estanque 2	54
Figura 25. Sexado manual de uno de los organismos seleccionados aleatoriamente	58

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de alevinaje específico para las etapas desde incubación hasta pre-  
engorda para el semidesierto queretano. Durante el experimento se monitorearon las  
características físico-químicas del agua: temperatura, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal,  
y dureza. Adicionalmente, se realizaron biometrías semanales para observar la ganancia de  
peso y talla de los organismos en distintos tratamientos. Durante el monitoreo de la  
temperatura se observó que el sistema de control minimizó las variaciones del sistema al  
comparar el agua del estanque sin el sistema de control. Así mismo, se comparó la  
concentración de oxígeno disuelto en el agua con y sin sistema de control, y con y sin  
alevines. Al realizar este monitoreo se observó que la concentración de oxígeno disuelto en  
el agua coincide con la concentración de saturación esperada, consultada en la literatura, de  
entre 6 y 8 mg/L. El monitoreo sin organismos se mantuvo dentro de este rango, por lo que  
el sistema de control nunca entró en acción. Sin embargo, durante el monitoreo con  
organismos, se observó una disminución significativa en la concentración del oxígeno  
disuelto en el agua; ésta concentración puede llegar a niveles letales en aproximadamente 24  
horas. Se monitoreó la ganancia de peso y talla de los organismos en dos tratamientos, uno  
con agua dura y el otro con agua suave. Un ANOVA de dos vías demostró que el tiempo es  
la variable que afectó en mayor parte a los organismos; en el caso del peso fue con un  
porcentaje de 93.95 % con una  $P < 0.0001$ , y en el caso de la longitud fue de 96.57 % con  
una  $P < 0.0001$ . Se observó un crecimiento isométrico con un factor alométrico positivo en  
ambos tratamientos, de 3.0712 con una  $R^2$  de 97.86 % y 3.1296 con una  $R^2$  de 97.77 %,  
respectivamente. Esto significa que en ambos tratamientos los peces crecieron de manera  
isométrica. Se realizó un tratamiento hormonal durante los primeros 15 días de vida con  
dietil-estil-bestrol  $\geq 99\%$  HPLC para realizar una reversión sexual en los organismos  
*Oreochromis niloticus* variedad supermacho; como resultado se obtuvieron organismos de  
genotipo masculino y fenotipo femenino.

**Palabras clave:** tilapia, sistema de alevinaje, agua dura, reversión sexual

## SUMMARY

A nursery system was designed, it is specific for the stages of incubation, hatching, larvae, and rearing, additional to the environmental conditions of the semi-desert weather of the region. Throughout the experiment the physic and chemical characteristics of the water were monitored, including temperature, dissolved oxygen (DO), ammonia, and water hardness. Additionally, weekly weight and length measurements of the organisms, were taken. During the monitoring of temperature, it was observed that the control system minimized the variations within, when compared with the water lacking the control system. Moreover, it was observed that the concentration of DO is consistent with the one proposed in literature, 6 to 8 mg/L. Without organisms the concentration stayed within the secure limits for the organisms; whereas in the monitoring with organisms, a significant descend was observed. While the control system kept the DO concentration within safe limits, in the case without the control system the DO concentration will reach lethal concentrations within 24 hours. The weight and length gain was observed in both treatments. A two-way ANOVA indicated that time is the most meaningful variable affecting the organisms both in weight gain, 93.95 % with  $P < 0.0001$ , and in length gain, and 96.57 % with  $P < 0.0001$ . An isometric growth was observed with a positive allometric factor of 3.0712 with  $R^2$  of 97.86 % in pond 1, and 3.1296 with  $R^2$  of 97.77 %. Meaning that in both treatments the organisms developed in an isometric manner. A hormonal treatment was applied within the first 15 days of life with diethylstilbestrol  $\geq 99\%$  HPLC to achieve a sex reversal in the *Oreochromis niloticus* YY male var. Such obtaining organisms with male genotype and female phenotype.

**Key words:** tilapia, nursery system, hard water, sex reversal



Dirección General de Bibliotecas UAQ

# 1. INTRODUCCIÓN

## LA ACUICULTURA Y EL CULTIVO DE TILAPIA

La acuicultura es el cultivo de peces, mariscos, plantas, algas y cualquier otro tipo de organismo acuático de agua dulce o salada, y tiene como objetivos producir alimentos y otros productos comerciales, y de restaurar hábitats y poblaciones en peligro (Asche y Smith, 2018). Durante la década de 1970, esta técnica comenzó a intensificarse y a ser utilizada de manera comercial. Sin embargo, hasta el 2016 la producción de pescado por este medio superó a la producción de las pesquerías (Valenti *et al.*, 2018). El cultivo acuícola de carpa, tilapia y salmón representa más del 80% de la producción acuícola de pescado (El-Zaeem y Salam, 2013).

La tilapia es originalmente de África, Jordania, e Israel; hasta ahora se han identificado 112 especies y subespecies de los géneros *Oreochromis*, *Sarotherodon*, y *Tilapia* (Ansah, Frimpong y Hallerman, 2014). De éstas, únicamente nueve especies son utilizadas comercialmente en la acuicultura, de las cuales las más utilizadas son la tilapia del Nilo: *Oreochromis niloticus*, la tilapia de Mozambique: *Oreochromis mossambicus*, y la tilapia azul: *Oreochromis aureus* (Modadugu y Acosta, 2004), siendo la tilapia del Nilo la más cultivada debido a su rápido crecimiento y resiliencia (Alcántar-Vázquez *et al.*, 2018).

Un factor clave para el cultivo de tilapia es que los machos crecen más y con mayor rapidez que las hembras, por lo que los cultivos que incluyen únicamente machos son deseables (Al-Hakim *et al.*, 2013). Adicionalmente, la producción de animales estériles o con una capacidad reproductiva disminuida es de utilidad para la producción acuícola, dado que se evita la reproducción descontrolada de organismos reduciendo así la pérdida de energía metabólica (Mamun, Sarder y Rahman, 2016). Existen múltiples métodos para la obtención de cultivos monosexo; por ejemplo el sexado manual, el producción de híbridos monosexo, el uso de hormonas exógenas para causar una reversión sexual y la tecnología de machos YY o supermachos (Islam, Sarder y Akhand, 2015).

Las tilapias determinan su género en los primeros 30 a 45 días de vida, por lo que éste puede controlarse utilizando hormonas feminizantes o masculinizantes según sea requerido. Aunque la reversión sexual por medio de hormonas permite homogenizar el cultivo exitosamente, durante los últimos años ha creado controversia, desatando una búsqueda de nuevos métodos para obtener cultivos monosexo sin la utilización de hormonas (Alcántar-Vázquez *et al.*, 2018). Por estas razones existe una tendencia hacia el desarrollo de supermachos de tilapia; éstos permiten mantener un cultivo de únicamente machos sin la utilización de hormonas exógenas a partir de la tercera generación en retrocruza (Wohlfarth, 1994).

En la actualidad existen diversos sistemas para el cultivo de tilapia, siendo los más utilizados el cultivo en jaulas colocadas en reservas de agua, el cultivo en estanques de tierra y el cultivo en estanques artificiales de concreto o geomembrana (Watanabe *et al.*, 2002). El tipo de sistema utilizado depende en la disponibilidad de recursos tanto naturales como económicos del productor y la producción deseada (FAO, 2014).

Cabe mencionar que existen unidades especiales para el desarrollo de tilapia en sus etapas iniciales; éstas son específicas para la eclosión, desarrollo larval y alevinaje de los organismos dada la delicada naturaleza de los mismos. En algunos países estas unidades están limitadas a la administración por parte del gobierno (Opiyo *et al.*, 2018). En México el gobierno administra algunas de estas unidades de producción, aunque existen iniciativas privadas que también se dedican a este fin. Las unidades gubernamentales dedican su producción al apoyo de las comunidades rurales para producción extensiva y consumo privado. En contraste, las unidades de producción de alevines de inversión privada dedican su producción para sistemas intensivos para su posterior comercialización (Fitzsimmons, 2000).

## SOBRE EL PROBLEMA Y LA OPORTUNIDAD QUE GENERA

La problemática relativa al cultivo de tilapia en México consiste en la falta de producción y tecnificación que satisfagan la demanda del mercado nacional; por lo que se motiva la llegada de producto importado afectando negativamente la economía (FAO, 2016). A pesar de la utilización de líneas mejoradas, los productores de tilapia en México siguen obteniendo rendimientos menores a los sugeridos, lo cual se atribuye al mal manejo y a las condiciones ambientales mexicanas (SAGARPA, 2017).

Específicamente, la etapa de alevinaje presenta un alto grado de complejidad debido a la delicadeza de los organismos. Así mismo, no existen estudios que se orienten al desarrollo de variedades de tilapia o sistemas de reproducción con buenos rendimientos en agua dura y a una altitud elevada (Siddiqui y Al-Harbi, 1995; FAO, 2009; Ramírez-Paredes, Garduño-Lugo y Muñoz-Córdova, 2012). Además, las principales unidades productivas del país se encuentran en un clima tropical o subtropical. Los alevines producidos en estas condiciones suelen tener problemas de desarrollo en condiciones no ideales, como temperaturas menores y altas concentraciones de minerales en el agua (FAO, 2010).

En México las principales acciones a corto plazo referentes a la acuicultura, propuestas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación son las siguientes:

- Mejoramiento de líneas genéticas de especies susceptibles a la acuicultura.
- Desarrollo de ciclo cerrado de especies de alto valor comercial.
- Producción de alimento de calidad (Mojica *et al.*, 2010).

Por lo que la tendencia será la mejora genética de especies cultivadas por métodos acuícolas, la intensificación y mejora de los sistemas de cultivo, y recirculación. Adicionalmente, lograr la producción de alevines en condiciones del semidesierto promoverá la producción en este tipo de clima; esto permitirá fomentar a su vez el desarrollo de comunidades de estas regiones, las cuales representan aproximadamente la mitad del territorio nacional.

## 2. ANTECEDENTES

Dado que el objetivo principal de este proyecto es desarrollar un sistema de recirculación para la producción de tilapia es de vital importancia conocer las variables fisicoquímicas y sus parámetros, para el correcto crecimiento de los organismos. Así mismo, es importante para la viabilidad de este proyecto conocer las distintas etapas de desarrollo de la tilapia y sus necesidades alimentarias y de su medio de desarrollo.

### 2.1 Cultivo de tilapia

La tilapia se coloca como el segundo grupo de peces de cultivo más importante tras las especies de carpa. Es un organismo que se desarrolla de mejor manera en ambientes tropicales y subtropicales y es de alimentación tipo omnívora. A pesar del enorme impacto y producción acuícola de esta especie, aún existen preguntas sin resolver sobre parámetros más específicos del sistema y la especie, la cantidad de minerales en el agua es uno de ellos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, debido a que la acuicultura es un sistema monitoreado, dependerá su funcionamiento de varios factores. La especie y la etapa de desarrollo en la que se cultiva, área de cultivo, factores climáticos y el manejo del sistema son los factores con mayor importancia para llevar a cabo un buen cultivo (Nadarajah y Flaaten, 2017).

Los peces que se seleccionen para ser reproductores deben de tener entre 10 y 20 meses de edad, y haber recibido una alimentación alta en proteína, alrededor del 32 %, y baja en grasa, 6 %. Deben de tener un cuerpo ancho, cabeza pequeña y redonda, no debe de presentar malformaciones de ningún tipo, deben de tener una coloración buena y uniforme, y estar sexualmente maduros (Alicorp, 2010; Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

Se debe usar una proporción de un macho por cada tres hembras, sin pasar de 1 kg de biomasa por metro cuadrado, manteniendo una temperatura de entre 28 °C y 31 °C en el agua, durante 3 a 6 días. Los machos eligen el sitio de desove y limpian el área para atraer a una hembra, después del cortejo la hembra suelta los huevos en el nido, el macho deposita

su esperma, y una vez fertilizados los huevos, la hembra los coloca en su boca para incubarlos. Se considera que cada hembra puede generar hasta 1,000 huevos por desove (Alicorp, 2010). Posteriormente, es necesario separar a los reproductores por sexo en estanques independientes para darles un descanso; los machos necesitan un descanso de mínimo 10 días, mientras que las hembras necesitan al menos 25 días (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

En la naturaleza, los huevos son incubados de 3 a 5 días dentro de la boca de la hembra, período durante el cual ésta no ingiere alimento. Una vez eclosionados, las larvas, aún con su saco vitelino, permanecen con su madre durante otros 5 a 7 días, escondiéndose en su boca ante el peligro (Saavedra Martínez, 2006). Sin embargo, existe la opción de retirar los huevos de la boca de las hembras para incubarlos artificialmente, colocándolos en jarras de incubación, donde permanecerán hasta que los alevines hayan absorbido su saco vitelino (Prieto y Olivera-Ángel, 2002; Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

La fase de alevinaje comprende a los organismos con pesos de 1 a 50 gramos; en esta etapa los alevines se desarrollan rápidamente, y su alimentación varía conforme éstos aumentan de tamaño, pasando por las etapas de alevín, cría y juvenil.

El alevinaje de los 1 a 5 gramos se realiza con densidades de 1,000 a 8,000 peces por metro cúbico de agua. Diariamente los alevines deben recibir hasta el 15% de la biomasa total como alimento que contenga 50% de proteína dividido en 8 o 10 raciones al día. Se han reportado índices de supervivencia del 70% al llevar a los alevines hasta los 5 g (Opiyo *et al.*, 2018), aunque existen unidades de producción de inversión privada con la capacidad de producir hasta 3 millones de alevines por mes (Fitzsimmons, 2000). Las tilapias determinan su género en los primeros 30 a 45 días de vida; por lo que el desarrollo de las características sexuales de uno u otro género puede controlarse utilizando hormonas feminizantes o masculinizantes según se desee (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

Es importante hacer un sexado manual para asegurar un cultivo monosexo al iniciar la etapa de juveniles, aún si se ha aplicado algún tratamiento para realizar una reversión sexual o una cruce interespecífica con progenie monosexo. De esta manera se puede asegurar

la eficiencia de los tratamientos, al tiempo de prevenir la reproducción descontrolada y pérdidas por competencia (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

## 2.2 Sistemas de producción de tilapia

Desde la década de 1980, la producción de pescado por parte de las pesquerías no ha aumentado, ya que menos del 10% de éstas aún tiene capacidad de producción; mientras que el restante está sobreexplotado o completamente agotado (Pauly y Zeller, 2017). Específicamente en México, se estima que más del 90% de las especies marítimas sujetas a explotación han llegado a sus niveles máximos y algunos se encuentran sobreexplotados (Gracia, 2014). Esto representa un grave problema para la población, ya que en la actualidad los pescados y mariscos representan alrededor del 16% del consumo global de proteína animal (Little, Newton, y Beveridge 2016).

La tilapia se puede cultivar desde en sistemas extensivos con poca inversión inicial, para consumo propio, hasta en sistemas intensivos con una alta inversión y tecnificación fines comerciales (Asche y Smith, 2018). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016) recomendó la reubicación de las granjas acuícolas a zonas alejadas de las costas; así como aumentar el aprovechamiento del agua mediante su recirculación, desarrollo de organismos con tolerancia a condiciones no ideales y de rápido crecimiento (FAO, 2016). Esto posibilita la transformación de la acuicultura en un método muy atractivo para producir proteína en terrenos improductivos (Cheung, Bruggeman y Buthenschön, 2018).

Existe una gran variedad de sistemas para cultivar tilapia, siendo los más comunes en Latinoamérica el cultivo en jaulas, los estanques en tierra, los tanques circulares y los canales de flujo continuo (Watanabe *et al.*, 2002).

Las jaulas en lagos y presas son el sistema de cultivo más accesible económicamente; sin embargo, solamente se puede utilizar en regiones con agua naturalmente templada, por lo que su zona productiva es limitada. Este sistema permite flexibilidad en la producción, debido a que los niveles de oxígeno se mantienen por encima

del mínimo requerido para la producción, gracias a las corrientes de agua. No obstante, existen varios riesgos, como el ataque por depredadores, y la pérdida de huevo a través de la jaula (FAO, 2014). Además, se pierde la capacidad de controlar variables como temperatura, pH y la presencia de contaminantes en el agua (Oviedo Jiménez, Félix Cuencas y Gutiérrez-Yurrita, 2016).

Los estanques en tierra permiten el uso de fertilizantes y alimentos comerciales, que sumados a un manejo correcto del cultivo permiten la obtención de más de cinco toneladas por hectárea por año. Este tipo de cultivo puede manejarse a un nivel extensivo o semi-intensivo, dependiendo de la inversión y el manejo. Los cultivos semi-intensivos dependen del uso de alimento de alta calidad y de recambios de agua constantes, para mantener constante la concentración de oxígeno disuelto (FAO, 2016). Estos estanques permiten un mayor control sobre las características del agua, aunque no son del todo recomendables ya que debido a su naturaleza pueden crear sabores indeseables a la hora del consumo del producto final.

Los tanques y los canales de flujo continuo (raceways) son los sistemas con mayor potencial de intensificación. El tamaño y forma de éstos puede variar dependiendo de la disponibilidad de espacio y la producción deseada. Se considera que los tanques circulares con drenaje central son los más eficientes, ya que permiten una eficiente separación de sólidos de desecho y una recirculación constante de agua. Los estanques dependen del ciclo de nitrificación para evitar la toxicidad del agua, mientras que los raceways dependen del flujo del agua para mantener los niveles de oxígeno disuelto y amonio dentro de los parámetros seguros para los organismos (Watanabe *et al.*, 2002; Iliyasu, Mohamed y Terano, 2016).

Una comparación de la eficiencia de diferentes sistemas de cultivo dio como resultado que los tanques circulares son los más eficientes para el cultivo de tilapia, así mismo tiene menores pérdidas de alimento; sin embargo su capacidad es mucho menor a la capacidad que la de los estanques de tierra y jaulas flotantes (Iliyasu, Mohamed y Terano, 2016).



Una alternativa es el uso de la tecnología de flóculos biológicos o Biofloc, por sus siglas en inglés, que permite el cultivo de tilapia en altas densidades con pocos recambios de agua, mediante la utilización de agregados microbianos para mantener la calidad de ésta (de Oliveira Alves *et al.*, 2017). Estos agregados asimilan los desechos nitrogenados de los peces, manteniendo los niveles de amonio y nitritos por debajo de sus niveles tóxicos. Ekasary *et al.* (2015) afirma que esta tecnología promueve la supervivencia de las larvas de tilapia, de un 33% en el control a un 72% en el sistema con la tecnología Biofloc (Ekasari *et al.*, 2015).

Los sistemas de recirculación acuícola, RAS por sus siglas en inglés, permiten un mejor aprovechamiento del agua, ya que ésta puede ser reutilizada al tratarla mediante el uso de filtros físicos, químicos y biológicos para mantener la calidad de la misma (Rueda-López *et al.*, 2013). Este sistema se puede utilizar en interiores para la producción de semilla de tilapia, ya que permite un gran nivel de control sobre ésta. El alimento y el agua introducidos al sistema pueden ser controlados, y los parámetros de las variables fisicoquímicas del agua como temperatura, pH y oxígeno disuelto pueden manejarse más fácilmente que en un sistema tradicional (Fleckenstein, Tierney y Ray, 2018).

Debido a que aproximadamente la mitad del territorio nacional es de clima árido o semiárido (INEGI, 2016), el desarrollo de un sistema que permita y promueva la reproducción de tilapia en un clima semiárido se convierte en una necesidad. Al aumentar la producción de tilapia en estas zonas se podría reducir el precio de esta fuente de proteína, ya que no sería necesario transportarla desde las costas, ni tampoco su importación para cubrir la demanda nacional. En 2016, México importó 16.8 millones de dólares de tilapia, de esta cantidad el 96% pertenece a China. De las 150,000 toneladas de tilapia que arriban al país al año, 30% tienen irregularidades o riesgos sanitarios (Melgar Bravo 2016).

### 2.3 Hibridación de tilapia

En las últimas décadas, la mejora en las tasas de rendimiento y resistencia a enfermedades o a climas adversos en la tilapia se ha convertido en una necesidad (Asche y Smith, 2018). Para este fin se han utilizado métodos de selección tradicionales, como la

hibridación inter-específica, así como métodos de mejoramiento genético, transferencia de genes e hibridación basada en marcadores específicos (Ansah, Frimpong y Hallerman, 2014).

La hibridación inter-específica o entre dos especies es uno de los métodos más básicos y más utilizados para la obtención de características deseables; en ella se utiliza la recombinación natural entre el material genético de machos y hembras de diferentes variedades (Chen *et al.*, 2018). Esta técnica aprovecha la heterosis o vigor híbrido, que se define como la obtención de híbridos más vigorosos, productivos y robustos que sus parentales (Mamun, Sarder y Rahman, 2016). Algunos estudios afirman que se pueden observar resultados de heterosis desde la primera generación (Assis *et al.*, 2017).

La tilapia es un excelente candidato para la hibridación debido a que crece en diferentes sistemas de cultivo y distintos ambientes (Bartley, Rana y Immink, 2000; Alicorp, 2010; Chakraborty *et al.*, 2011; Diana *et al.*, 2013; Alcántar Vázquez *et al.*, 2014; FAO, 2016).

Actualmente en México existen pocas líneas genéticas mejoradas y la mayoría provienen del extranjero (Calixto Escobar, 2011). Los híbridos desarrollados en México más importantes son el Pargo-UNAM y los supermachos de la Universidad de Papaloapan. La Universidad Nacional Autónoma de México desarrolló el Pargo-UNAM, un híbrido con una tasa de crecimiento similar a la tilapia del Nilo y con un peso final del 40 al 60 % mayor que el de otras tilapias rojas (Calixto Escobar, 2011). La Universidad de Papaloapan desarrolló su línea de supermachos, híbridos con la capacidad de producir una progenie de únicamente machos (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

#### 2.4 Cultivo monosexo

Existen múltiples métodos para la obtención de cultivos monosexo, como el sexado manual, la producción de híbridos monosexo, el uso de hormonas exógenas, y la tecnología de machos YY o supermachos (Islam, Sarder y Akhand, 2015).

El sexado manual es la estrategia más básica para la obtención de un cultivo monosexo, y consiste en la separación de machos y hembras basándose en las diferencias de

la papila sexual (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014). Aunque la reversión sexual por medio de hormonas permite homogenizar el cultivo exitosamente, durante los últimos años ha creado controversia (Al-Hakim *et al.*, 2013), desatando una búsqueda de nuevos métodos para obtener cultivos monosexo sin la utilización de hormonas, como la tecnología de machos YY (Alcántar-Vázquez *et al.*, 2018). Los alevines resultantes de la cruce de machos YY con hembras comunes XX pueden desarrollarse en sistemas comunes de eclosión y alevinaje, sin tener que realizar ninguna modificación (Islam, Sarder y Akhand, 2015; Mamun, Sarder y Rahman, 2016).

#### 2.4.1 Diferenciación gonadal de tilapia

Para poder comprender los mecanismos de definición sexual en las tilapias es importante independizar los términos determinación sexual y diferenciación sexual, que son afectados por muchos factores genéticos y factores ambientales. Los factores genéticos que determinan el sexo de la tilapia sistemas de cromosomas simples. Por otro lado, los factores ambientales pueden influir en la determinación de sexo y diferenciación sexual en las tilapias. Algunos de estos factores ambientales son la densidad de siembra, el pH, color de fondo, temperatura del agua, y por supuesto la exposición a hormonas exógenas (Heule, Salzburger y Böhne, 2014). La obtención de cultivos monosexo por medio del método de supermachos es el resultado de la interacción Genotipo x Ambiente. Observando de esta manera la modificación del genotipo de los organismos causada por la exposición a características específicas del ambiente (Omasaki *et al.*, 2016); en el caso de los supermachos, la exposición a hormonas exógenas agregadas al alimento de los alevines.

Los esteroides sexuales juegan un rol muy importante en la diferenciación gonadal en teleósteos (Kobayashi, Kajiura-Kobayashi y Nagahama, 2003). La tilapia permite obtener hembras genéticas (XX) y machos genéticos (XY) a partir de individuos sexualmente reversados: machos (XX), óvulos normales (XX), y esperma supermacho (YY). Ya que no se observa una predisposición sexual fenotípica al momento de la eclosión. A los tres días después de la eclosión aparecen las primeras muestras de diferenciación gonadal, a los 5 días

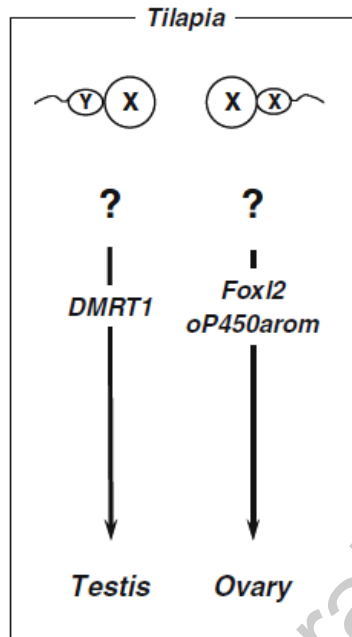
se desarrollan los primeros receptores para hormonas sexuales, y las primeras hormonas endógenas aparecen a los 7-10 días después de la eclosión (Nagahama, 2005).

A pesar de que la tilapia del Nilo es uno de los organismos más estudiados de la acuicultura, aún se desconocen muchos elementos de las cascadas de señalización relacionadas con la diferenciación y desarrollo de las gónadas sexuales de la tilapia. Nagahama en el 2005, determinó que la activación de genes específicos en las tilapias eran responsables de la diferenciación, ya sea en machos fenotípicos en caso de *Dmrt1* o en hembras fenotípicas en caso de *Foxl2* y *P450arom* (Nagahama, 2005), como se puede observar en la Figura 1.

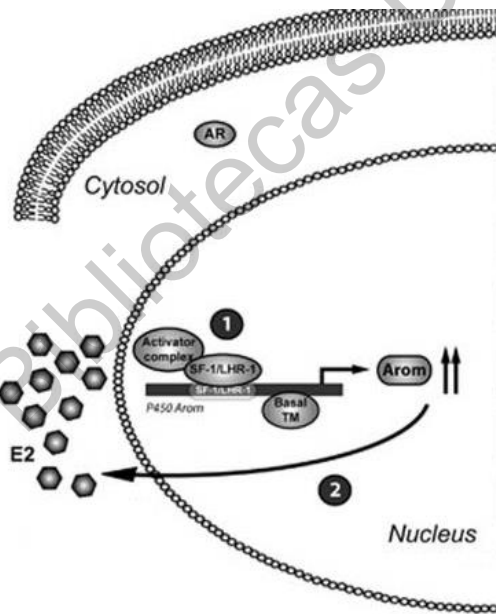
*Foxl2* se une al potenciador gonadal de *Sox9* (TESCO) para reprimir su transcripción. Así mismo, *Dmrt1* se une a regiones reguladoras encargadas de la promoción de ovarios, reprimiendo la transcripción de genes promotores feminizantes y activando genes específicos de los machos. Se ha demostrado que la delección de *Dmrt1* resulta en la activación de *Foxl2* y la regulación cascada debajo de *Sox9*. Por ende llevando a la trans-diferenciación de las células Sertoli en células granulosas (Windley y Wilhem, 2016). Por otro lado en ausencia de *Dmrt1* *P450arom* se potencia, promoviendo así la producción de la enzima aromatasa, encargada de aromatizar los andrógenos y de esta manera sintetizando estrógenos (Uhlenhaut *et al.*, 2009). En la Figura 2 se puede observar como la activación del gen *P450 Arom*, promueve la producción de estrógenos, induciendo así la diferenciación de las gónadas femeninas (Lanzino *et al.*, 2013).

Se conoce que la acción diferenciadora en gónadas testiculares de *Sox9* se inhibe por la cadena de señalización WNT/ $\beta$ -catenina (Huang, Ye y Chen, 2017) en presencia de *Foxl2* y de una alta concentración de estrógenos debido a la acción de *P450arom*. Tanto *Foxl2* como los receptores de estrógenos  $ER\alpha$  son críticos para el desarrollo reproductivo de las hembras; aunque no se ha podido demostrar su interdependencia, ambos se unen al sitio de unión AP1. En presencia de *Foxl2*, la transcripción de  $ER\alpha$  se ve disminuida, ya que inhibe la actividad transcripcional de AP1 (Kim *et al.*, 2009).

Para la creación de supermachos de tilapia se necesita realizar una reversión sexual con una hormona estrogénica. Se puede administrar dietilestilbestrol (DES) en una dosis de entre 50 y 100 mg durante un periodo de 15 días y esperar entre un 90 y 100 % de efectividad (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

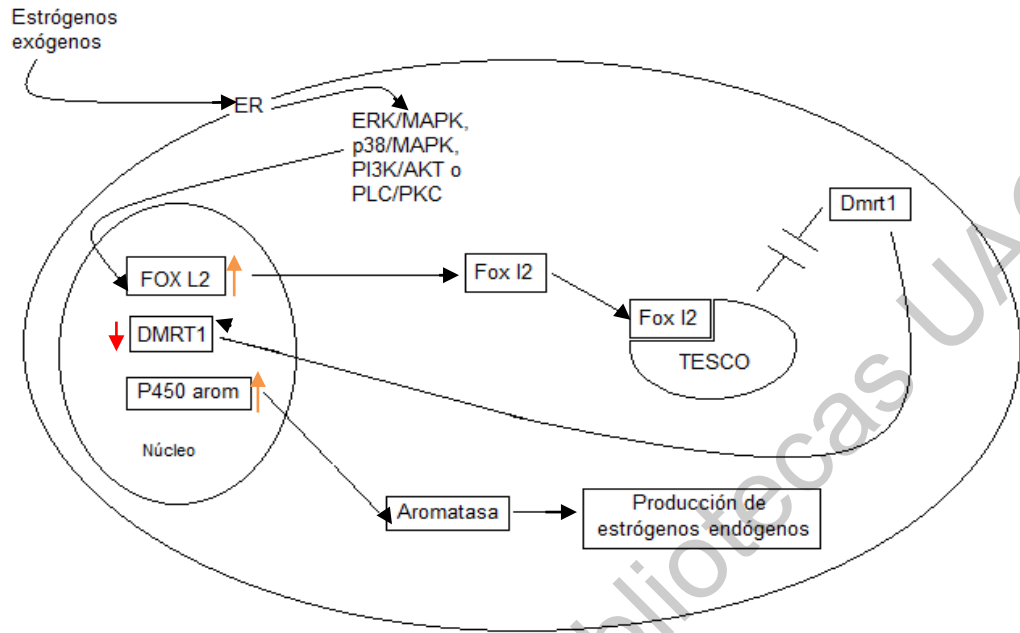


**Figura 1.** Mecanismo potencial de la diferenciación gonadal en tilapia (Nagahama, 2005).



**Figura 2.** En las hembras genéticas (XX) el gen P450 Arom naturalmente promueve la producción de estrógenos (E2), lo que naturalmente induce la diferenciación de gónadas femeninas (Lanzino *et al.* 2013).

El mecanismo de lo que sucederá al agregar estrógenos exógenos a las tilapias que aún no definen su sexo fenotípico, se resume en la Figura 3. Se observa que DES se une a los receptores de estrógeno, activándolos y formando un dímero que se transloca al núcleo donde modula la expresión de genes específicos al colocarse cerca de regiones promotoras en el ADN. Se cree que la unión de DES al sitio de unión de ER puede desatar la activación de varias cascadas de transducción como ERK/MAPK, p38/MAPK, PI3K/AKT y PLC/PKC (Marino, Galluzzo y Ascenzi, 2006).



**Figura 3.** Mecanismo de acción de estrógenos exógenos agregados artificialmente a tilapia que aún no define sus características sexuales, adaptado de Marino, Galluzzo, y Ascenzi (2006). Al agregar estrógenos exógenos a una tilapia genotípicamente macho (XY), éstos llegarán a los receptores de estrógenos (ER) en la membrana. ER activará alguna cascada de transcripción que aún no se determina, lo cual a su vez activará el gen FOX L2 promoviendo la unión de Fox I2 a TESCO. De esta manera Dmrt1 no se podrá unir a TESCO, por lo que su concentración aumentará en citosol y causará una retroalimentación negativa, apagando al gen DMRT1 y promoviendo la actividad de la enzima aromatasa. La enzima aromatasa tiene como propósito la síntesis de hormonas estrogénicas y la aromatización de hormonas andrógenas.

Un resumen del proceso para la obtención de machos YY se muestra en la Tabla 1. Se observa que a partir de la segunda cruce se obtiene una línea de machos YY o supermachos, que por sus características cromosómicas aunque sean sometidos a un tratamiento de reversión sexual no se feminizarán.

**Tabla 1.** Cruzamiento Mendeliano de la tilapia con efecto de las reversiones sexuales.

Cruza 1		XX	x	XY		
F1		50% XX		50% XY		
Reversión 1		XX		XY		feminizados
Cruza 2	XX		x	XY	XY	x XY
F2		50% XX		50% XY	25% XX	25% YY 50% XY
Reversión 2	XX			XY	feminizados	YY

## 2.5 Parámetros fisicoquímicos

En la acuicultura se deben de considerar las buenas prácticas acuícolas específicas para cada especie, considerando la calidad del agua disponible y las condiciones ambientales de la zona; algunos factores de gran importancia son el oxígeno disuelto, el contenido de nitrógeno, la dureza del agua y la temperatura (El-Sayed, 2006).

El oxígeno disuelto es un factor importante para el desarrollo de la tilapia, ya que si éste se encuentra por debajo de 4 ppm se detiene el crecimiento, y si alcanza un nivel por debajo de las 3 ppm se vuelve letal; así mismo, es importante considerar que la saturación de oxígeno disuelto en agua es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y pH (Alicorp, 2010). El nitrógeno en forma de amonio, nitritos y nitratos puede llegar a ser tóxico para la tilapia (Genaro Soto-Zarazúa *et al.*, 2010). El agua dura limita el crecimiento de las tilapias, ya que causa acidosis y calcificación (Laurén y McDonald, 1986). La temperatura está directamente ligada a la tasa de crecimiento de estos organismos, causando que en aguas con temperaturas bajas se necesite más tiempo para alcanzar los resultados de zonas con mayor temperatura (Peña-Herrejón *et al.*, 2016). Si no se mantiene un control sobre las condiciones del agua, se pueden generar enfermedades debido a infecciones bacterianas, lo que podría significar pérdidas económicas importantes para los productores (Del'Duca *et al.*, 2013).

El oxígeno disuelto en agua es uno de los factores de mayor importancia, debido a que en el caso de exposiciones prolongadas a concentraciones bajas de éste disminuye la tasa de crecimiento y la capacidad reproductiva; los peces necesitan más alimento para aumentar de peso, se produce inapetencia, letargia y aumenta la propensión al desarrollo de enfermedades. Se debe considerar que el grado de saturación del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud, y directamente proporcional a la temperatura y pH. La concentración de oxígeno disuelto en el agua debe de estar por encima de 4.5 mg/L para que los peces se desarrollen óptimamente (Alicorp, 2010).

La temperatura corporal de los peces depende de la temperatura de su entorno; la tilapias específicamente son peces que se desarrollan en regiones tropicales con un rango de temperatura óptimo de entre 20 °C y 35 °C (El-Sayed, 2006). Se sabe que en temperaturas

por debajo de los 16 °C la tilapia detiene su crecimiento y deja de comer; aunque se ha mencionado que puede soportar algunos días en temperaturas cercanas a los 10 °C (Cnaani, Gall y Hulata, 2000). En general, se menciona que una temperatura de entre los 25 °C y 35 °C es necesaria para el correcto desarrollo de la tilapia; sin embargo, se recomienda mantener la temperatura entre los 26 °C y los 29 °C. La temperatura afecta la tasa metabólica de los organismos, entre mayor es la temperatura mayor es la tasa metabólica y mayor es el consumo de oxígeno (Alicorp, 2010).

La dureza del agua se refiere la concentración de los iones de calcio y magnesio expresados en su equivalente carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); sin embargo, otros iones presentes en el agua (Al, Fe, Mg, Sr y Zn) deben ser considerados. Estos iones tienen una gran importancia biológica, ya que ayudan a mantener el balance en sangre y son requeridos para una correcta sinapsis neural (Wurts y Durborow, 1992). Existen aguas blandas que tienen una concentración menor a 50 partes por millón (ppm) de  $\text{CaCO}_3$ , y aguas duras de más de 100 ppm de  $\text{CaCO}_3$ , con un rango óptimo para el cultivo de tilapia de entre 75 y ppm de  $\text{CaCO}_3$ . Así mismo, una concentración menor a las 50 ppm o mayor a las 350 ppm de  $\text{CaCO}_3$  son letales para la tilapia (Alatorre-Jacome *et al.*, 2011).

El potencial de hidrógeno (pH) es la concentración de iones de hidrógeno en el agua, y el rango óptimo para el cultivo de tilapia es de entre 6.5 y 9.0. Valores fuera de este rango causan letargia, inapetencia, y disminuyen las tasas de crecimiento y reproducción; si llega debajo de 5 causará la muerte en menos de 5 horas (Alicorp, 2010).

El amonio,  $\text{NH}_4^+$ , es un elemento tóxico producido por los peces al excretar u orinar; igualmente se libera al degradarse la materia vegetal, y las proteínas de alimento no consumido. La toxicidad en su forma no ionizada, amoníaco  $\text{NH}_3$ , aumenta cuando disminuye la concentración de oxígeno disuelto en el agua, el pH es alcalino y la temperatura es alta. La concentración de amonio debe entre 0.01 y 0.1 partes por millón (ppm), ya que una concentración mayor bloquea el metabolismo de los peces, daña las branquias, afecta la homeostasis, produce lesiones internas e inmunosupresión. La solución más viable para este problema es la implementación de aireación y un sistema de recirculación de agua que cuente



con un biofiltro, donde se capture una parte del nitrógeno así mejorando la calidad del agua (Alicorp, 2010).

Los nitritos,  $\text{NO}_2^-$ , son contaminantes altamente tóxicos generados en la transformación del amoníaco a nitratos. Su toxicidad es directamente proporcional a la cantidad de cloruros en el agua y la temperatura, e inversamente proporcional a la cantidad de oxígeno disuelto. Sus niveles siempre deben de estar por debajo de 0.1 ppm; esto se logra con recambios de agua, evitando que alimento no consumido se quede en el agua y controlando las concentraciones de amonio (Alicorp, 2010).

Los fosfatos son producidos con la descomposición de la materia orgánica, y causan aumento en la población de fitoplancton y una disminución en la concentración de oxígeno disuelto por la noche. Su concentración debe mantenerse entre 0.6 y 1.5 partes por millón, su toxicidad aumenta con valores bajos de pH.

### 3. HIPÓTESIS

La elaboración de un sistema de recirculación específico para la obtención de híbridos de *Oreochromis* mejorará sus indicadores de producción, lo que a su vez permitirá la generación de organismos resistentes a una altitud superior a los 1900 metros sobre el nivel del mar y agua con concentraciones elevadas de  $\text{CaCO}_3$ .

Dirección General de Bibliotecas UAG

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Diseñar, construir y poner en marcha un sistema de recirculación que promueva los indicadores de producción de manera que permita la producción de híbridos de tilapia resistentes a agua dura.

### 4.2 Objetivos particulares

- Realizar pruebas de concepto para el sistema de recirculación.
- Calcular ingeniería básica y de detalle para el sistema de recirculación.
- Realizar las pruebas en vacío para el sistema de recirculación puesto en marcha.
- Monitorear y registrar las variables fisicoquímicas del agua en el sistema de recirculación, para determinar la tasa de crecimiento de la tilapia y necesidades del sistema.
- Monitorear y registrar indicadores de producción.

## 5. METODOLOGÍA

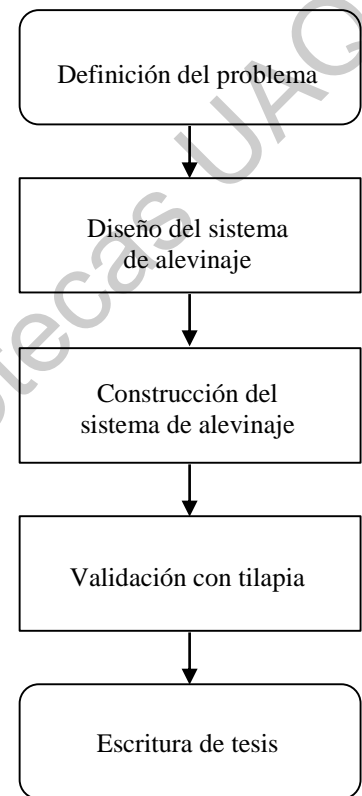
La presente tesis consistió en cuatro etapas como se puede observar en la Figura 4.

Durante la etapa de definición del problema se realizó una investigación bibliográfica, para entender por completo el alcance y las necesidades de este proyecto.

Las etapas de diseño, construcción y validación del sistema, fue donde se realizó la experimentación y se obtuvieron los datos a analizar en la etapa de evaluación estadística.

Finalmente, cabe recalcar que la etapa de escritura de tesis no se realizó únicamente al final del proceso, sino que fue un proceso de creación y perfeccionamiento a lo largo del proyecto.

En la Tabla 2 se presenta la ingeniería de proceso del proyecto, comprendiendo las etapas de diseño, construcción, y validación del sistema de alevinaje.



**Figura 4.** Etapas de proyecto de tesis.

**Tabla 2.** Ingeniería de proceso del sistema de acuícola para la producción de alevines de tilapia (*Oreochromis spp.*)

ETAPAS	OPERACIONES	ACCIONES
Diseño del sistema de alevinaje	Medición de características de agua de Amazcala	Toma de muestra del tanque de origen Uso de multímetro HQ40D para medir oxígeno disuelto y temperatura Determinar capacidad deseada del sistema en términos de peces y de volumen de agua
	Calcular flujos del sistema	Definición de tamaño real de sistema en términos de peces y de volumen de agua Cálculo de entradas, salidas, transformación y pérdidas de energía en el sistema
	Dimensionamiento del sistema	Elaboración de un plano a partir de un levantamiento topográfico
Construcción del sistema de alevinaje	Compra de material	Búsqueda de proveedores y cotización de material
	Armado de tubería	Armado de tubería de PVC Revisión de necesidades eléctricas de los equipos en campo
	Instalación de equipos	Instalación de equipos y sensores en sitio final
	Pruebas de la instalación	Prueba de fugas Pruebas en vacío, oxígeno, temperatura y pH
Validación con tilapias	Adquisición de huevo	Búsqueda de proveedores Compra de huevo
	Monitoreo y registro de variables	Monitoreo y registro de variables fisicoquímicas: oxígeno, temperatura, pH, amonio, nitritos, fosfatos, dureza. Monitoreo y registro de variables biométricas: tasa de mortalidad, peso, y longitud
	Establecimiento de condiciones óptimas de reproducción	Ajuste de equipos Ajuste de flujos
	Reversión sexual y engorda de alevines	Reversión sexual Engorda de alevines
		Sexado manual

## 5.1 Diseño del sistema de alevinaje

Para el diseño del sistema de alevinaje (incubación y precría) se tomaron mediciones de la temperatura y de la concentración de oxígeno disuelto en el agua directamente de los reservorios del sitio seleccionado para la instalación del sistema de alevinaje. Se tomó una muestra de 250 ml de agua del tanque de origen utilizando un vaso de precipitados. Posteriormente, se utilizó el multímetro HQ40D de Hach con la sonda para medir oxígeno disuelto para realizar las mediciones de acuerdo a las instrucciones del equipo.

Además, se realizó un levantamiento topográfico de las estructuras ya existentes dentro del invernadero, con el objetivo de crear un dibujo en el programa AutoCad del diseño final del sistema de alevinaje. Se determinó la capacidad máxima del sistema y se calcularon los flujos de agua y las necesidades para calentar y oxigenar el mismo. Igualmente, se seleccionaron los actuadores y elementos de control necesarios, para mantener el agua en las condiciones apropiadas para el correcto desarrollo de la tilapia.

Finalmente, se diseñó un sistema de control con el objetivo de mantener tanto la temperatura como la concentración de oxígeno disuelto dentro de los valores óptimos para la incubación del huevo de tilapia y desarrollo de los alevines en su etapa de precría.

## 5.2 Construcción del sistema de recirculación acuícola

Para la etapa de construcción del sistema de recirculación se realizó una consulta bibliográfica, prospectiva, transversal y descriptiva de más de 150 artículos, manuales y libros. Se utilizaron materiales disponibles en la institución dentro de lo posible; los materiales que no se pudieron conseguir, se adquirieron de manera local.

Se consideró que el sistema se instalaría dentro de un invernadero en un clima semi-desértico a una altitud de 1920 metros sobre el nivel del mar. También se consideraron las etapas de incubación, precría, y alevinaje.

Toda la tubería del sistema se armó a presión sin utilizar pegamentos, ya que éstos podrían afectar el desarrollo de los alevines. Se revisaron las necesidades eléctricas,

dimensionales, y de instalación de los equipos a utilizar. Posteriormente se realizó una instalación eléctrica especial para cada una de las distintas partes del sistema de control y sus actuadores, de manera que la capacidad eléctrica nunca se viera superada.

### 5.3 Pruebas de instalación

Luego de instalar los equipos en su sitio, se realizaron pruebas en vacío para observar áreas de oportunidad, fugas, y riesgos no previstos, de manera que se pudieran corregir previo a la introducción de los organismos para su validación. Los estanques y jarras de incubación fueron llenados de agua mediante el sistema hidráulico del invernadero acuícola de la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amazcala.

Se dejó funcionar el sistema en vacío, sin organismos vivos, para observar fugas y monitorear la variación de la temperatura y del oxígeno disuelto a lo largo de 24 horas. El monitoreo se realizó utilizando los sensores del sistema de control conectados a una computadora, para realizar el registro automático de los valores en intervalos de 10 minutos.

### 5.4 Medición de características físico-químicas de agua de Amazcala

La medición de las características físico-químicas del agua utilizada en el sistema de alevinaje es de vital importancia, ya que éste deberá controlar tanto la temperatura como la concentración de oxígeno disuelto, de manera que la única variable no controlada sea la dureza del agua. La toma de muestras y los análisis se realizaron de manera semanal a lo largo de todo el experimento.

La dureza el agua se monitoreó con el método 8030 de los métodos Hach para el espectrofotómetro DR6000. Se trata de un método colorimétrico que detecta incluso bajos niveles de calcio y de magnesio. Se utiliza calmagita como indicador, éste se torna morado o azul en una solución alcalina, y cambia a rojo al reaccionar con calcio o magnesio. La presencia de calcio y magnesio se determina quelando el calcio libre con EGTA, seguido de la quelación de calcio y magnesio con EDTA. Al medir el color rojo después de ambas

quelaciones a 522 nm, permite determinar las concentraciones tanto de calcio como de magnesio.

La concentración de amonio se monitoreó con el método 8038 de los métodos Hach para el espectrofotómetro DR6000 denominado método de Nessler con intervalo de 0.02–2.50 mg/L  $\text{NH}_4$ . Mediante este método se utiliza un estabilizante mineral que disminuye la dureza en las muestras y un agente dispersante (alcohol polivinílico), que contribuye a la formación de la coloración en la reacción del reactivo Nessler con los iones de amonio. Esto ocasiona que se forme un color amarillo proporcional a la concentración de amoniaco y que puede ser medido a 425 nm.

La determinación de nitritos,  $\text{NO}_2$ , se hizo de acuerdo al método 8057 de los métodos Hach para el espectrofotómetro DR6000 denominado método de diazotación con intervalo de 0.002–0.300 mg/L  $\text{NO}_2$ . En este método el nitrito de la muestra reacciona con el ácido sulfanílico para formar sal de diazonio, que reacciona con el ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa; este color es proporcional a la cantidad de nitrito presente y puede medirse a 507 nm.

La determinación de nitratos,  $\text{NO}_3$ , se hizo de acuerdo al método 8039 de los métodos Hach para el espectrofotómetro DR6000 denominado método de reducción de cadmio con intervalo de 0.3–30.0 mg/L  $\text{NO}_3$ . En este procedimiento el cadmio metálico reduce a nitrito el nitrato presente en la muestra. El ion nitrito reacciona en medio ácido con el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio intermedia. Esta sal reacciona con el ácido gentísico, para formar una solución de color ámbar que se mide a 500 nm.

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos, y puede ser uno de los nutrientes limitantes para la producción primaria en los sistemas acuáticos. La determinación analítica del fósforo se realizó mediante el método 8048 de los métodos Hach denominado del ácido ascórbico para ortofosfatos con un intervalo de 0.02–2.50 mg/L; donde el ortofosfato reacciona con molibdato en un medio ácido, formando un complejo de fosfomolibdato para que el ácido ascórbico reduzca el complejo dando un intenso color azul de molibdeno que puede ser medible a 880 nm.



La determinación analítica del potasio se realizó mediante el método tetrafenilborato con identificación 8049 de los métodos Hach con un intervalo de medición de 0.1 a 7.0 mg/L de K; donde el potasio presente en la muestra reacciona con el tetrafenilborato de sodio para formar tetrafenilborato de potasio que se distingue por ser un precipitado blanco. La cantidad de turbidez que se produce es proporcional a la concentración de potasio, y puede determinarse espectrofotométricamente a una longitud de 650 nm.

#### 5.5 Validación con tilapia

Se adquirió huevo de una hembra de tilapia del Nilo de 1 año de la Granja Acuícola Zidedho en Ixmiquilpan, Hidalgo. El huevo fue obtenido directamente la tilapia seleccionada, ésta fue sumergida repetidamente cabeza abajo en un contenedor para obtener todos los huevos contenidos en su boca. Luego se lavó el huevo con agua corriente con cuidado de no reventarlo, y de no agregar partículas que pudieran dañarlo. Como paso siguiente el huevo fue colocado en una probeta para hacer un cálculo de la cantidad obtenida, y finalmente se colocó en las jarras de incubación.

Una vez que eclosionaron, las larvas de tilapia salieron de las jarras de incubación, cayendo al estanque de precría donde permanecieron durante 3 días sin alimento, hasta que absorbieron su saco vitelino.

Una vez sin vitelio, los organismos se alimentaron 7 raciones por día, del 12% del peso total con el alimento comercial Purina Aquamax Fingerling 300 con un contenido de proteína del 50%. Este alimento fue acompañado por un tratamiento con la hormona dietilestilbestrol a una dosis de 100 mg/kg durante 15 días.

El régimen de alimentación que se dio a las tilapias en sus diferentes etapas de desarrollo se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Alimentación según la etapa de cultivo.

ETAPA	ALIMENTACIÓN
Pre-cría	<0.5 g: 7 raciones por día, 12% de peso total, 50% de proteína, 30 días
Pre-engorda	0.5-5 g: 4 raciones por día, 10% de peso corporal, 45% de proteína
Engorda	4 raciones por día, 4% de peso total, 35% de proteína

Para la engorda, las poblaciones se fueron dividiendo y colocando en distintos estanques para mantener las densidades presentadas en la Tabla 4.

Una vez que los organismos alcanzaron los tres meses se seleccionó una muestra correspondiente al 20%-30% de la población, para la revisión de la efectividad de la feminización (Alicorp, 2010).

**Tabla 4.** Densidad de siembra de acuerdo a la edad de los organismos y su biomasa esperada.

EDAD (SEMANAS)	DENSIDAD DE SIEMBRA (PECES / M <sup>3</sup> )
0 – 4	1,000 – 8,000
5 – 9	1,600
10 – 13	1,000
14 – 16	500

## 5.6 Biometrías en tilapia

Una vez por semana se tomaron biometrías a 10 peces de cada tratamiento; éstas constaron de pesaje y toma de longitud. El peso se midió con ayuda de una balanza Precisa BJ610C en donde se colocó un vaso con agua, se marcó en ceros la balanza y se introdujo al pez dentro del vaso para obtener así su peso húmedo. La talla se midió con un vernier Mitutoyo Absolute IP67. Finalmente se llevó un registro de las muertes en cada uno de los estanques de los distintos tratamientos.

### 5.7 Determinación de parámetros productivos

- Supervivencia % = (Organismos finales por 100/ organismos iniciales)
- Peso ganado % =  $100 * [(Peso\ final - peso\ inicial) / peso\ inicial]$ : este parámetro indica cuánto peso ganó el individuo en un periodo de tiempo.
- Tasa Específica de Crecimiento %/día (T.E.C.) =  $100 \ln (peso\ final - \ln\ peso\ inicial) / días\ del\ experimento$ : indica la tasa a la que está aumentando el crecimiento del individuo en un periodo de tiempo.
- Peso ganado individual g/día =  $[(Peso\ final - peso\ inicial) / Edad\ en\ días]$ : indica cuánto aumenta en peso un individuo en promedio por día.

### 5.8 Diseño experimental

En este proyecto el diseño experimental solamente se conformó de un factor, la dureza del agua. Se consideraron dos niveles, uno con agua obtenida directamente de los reservorios de la Universidad y el otro suavizado con agua con una concentración menor de  $CaCO_3$ , como agua de garrafón o de desecho de la caldera de un invernadero de alta tecnología con cultivo de jitomate. Desde la etapa de huevo, los organismos fueron sometidos a estas distintas condiciones de dureza del agua, estas condiciones se mantuvieron durante la etapa de precría. Se compararon los indicadores de producción de los organismos crecidos en agua dura y agua suave, para observar si existe una diferencia significativa entre ellos.

### 5.9 Análisis estadístico

Se utilizó un análisis ANOVA de dos vías para comparar los dos tratamientos planteados y distinguir sobre los efectos de cada uno y sus interacciones; además de concluir si éstos causan una diferencia significativa en los indicadores de producción de los organismos. Los indicadores que se utilizaron para evaluar este proyecto fueron peso (g), longitud (mm), biomasa total (g), y relación peso longitud de los organismos.

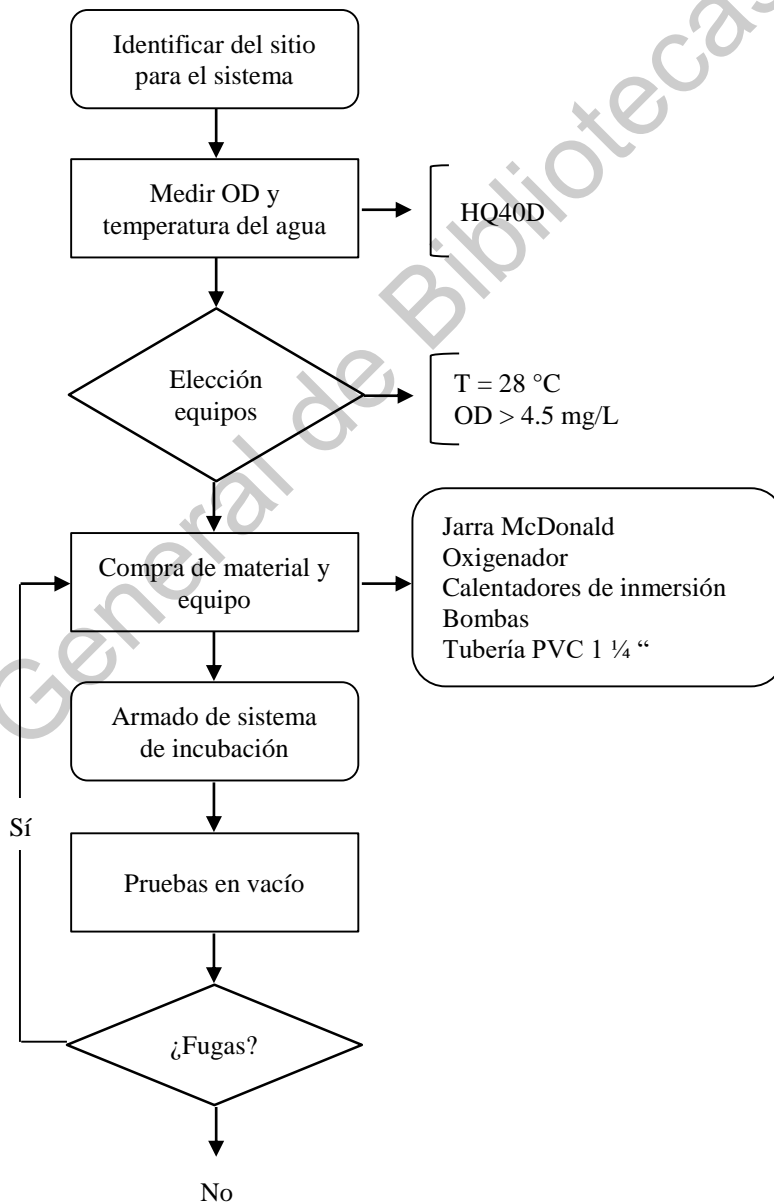
## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

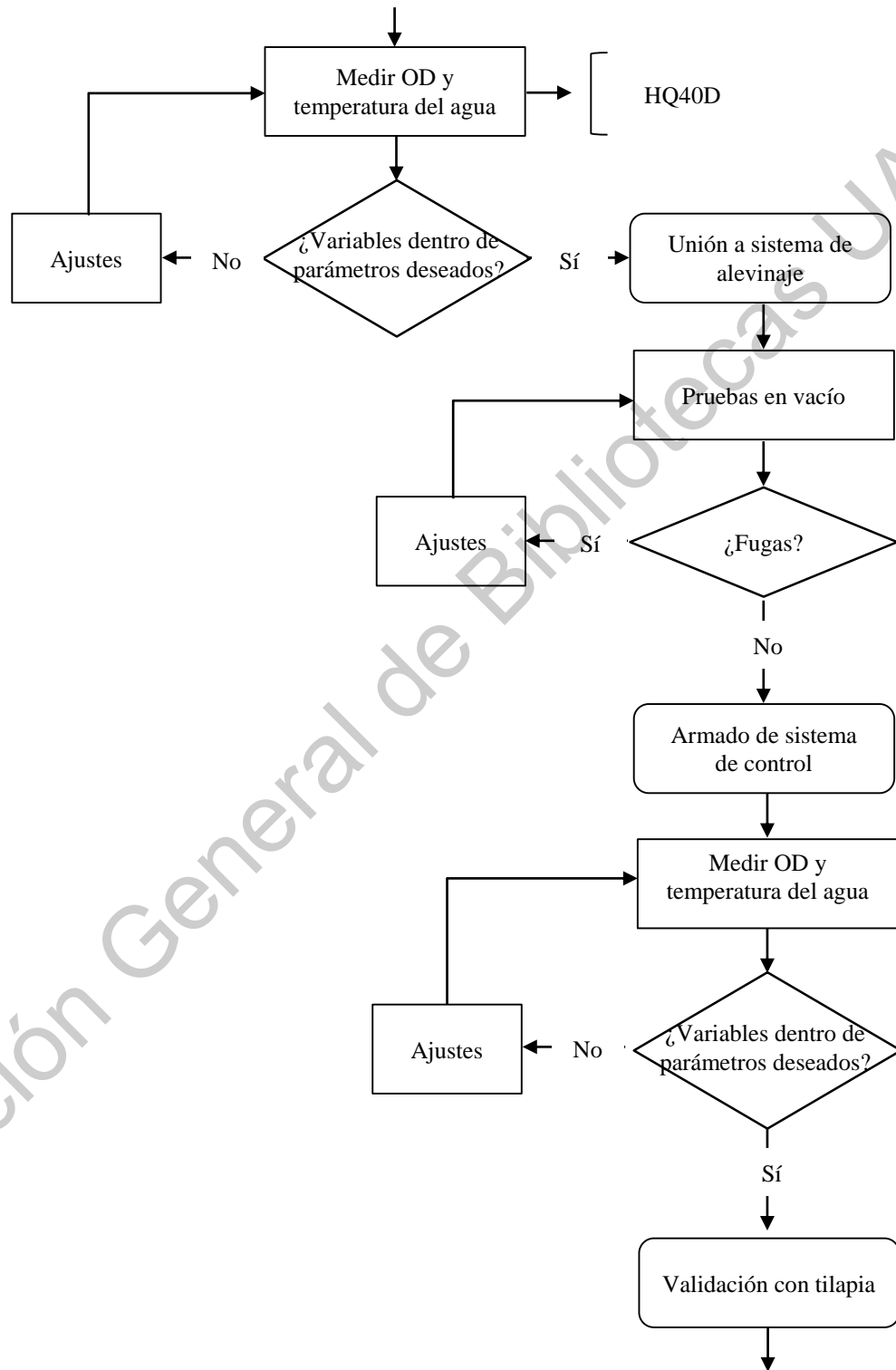
En esta sección se muestran los resultados de la investigación obtenidos en las distintas etapas del proyecto.

- Definición del problema:
  - Diagrama de flujo que muestra la ingeniería de detalle del proyecto.
- Diseño del sistema de alevinaje:
  - Características climáticas del sitio de experimentación.
  - Levantamiento topográfico.
  - Dibujos en AutoCad del sistema de recirculación en las etapas de incubación-eclosión o hatchery.
  - Diagrama de sistema de control.
- Construcción del sistema de recirculación:
  - Prototipo del sistema de recirculación.
  - Prototipo del sistema de control.
  - Validación en vacío.
- Validación con tilapia.
  - Parámetros de producción.
  - Monitoreo de calidad del agua.
  - Reversión sexual.
- Estudio financiero.

## 6.1 Ingeniería de detalle del proyecto

La Figura 5 es un diagrama de flujo donde se muestran todos los detalles de cada uno de los pasos tomados para realizar la investigación. Este diagrama se realizó posterior a la investigación bibliográfica y previa al inicio de la experimentación; de manera que se mantuviera el alcance y se pudiera utilizar como guía a través de todas las etapas de este proyecto.





Dirección General de Bibliotecas UAQ

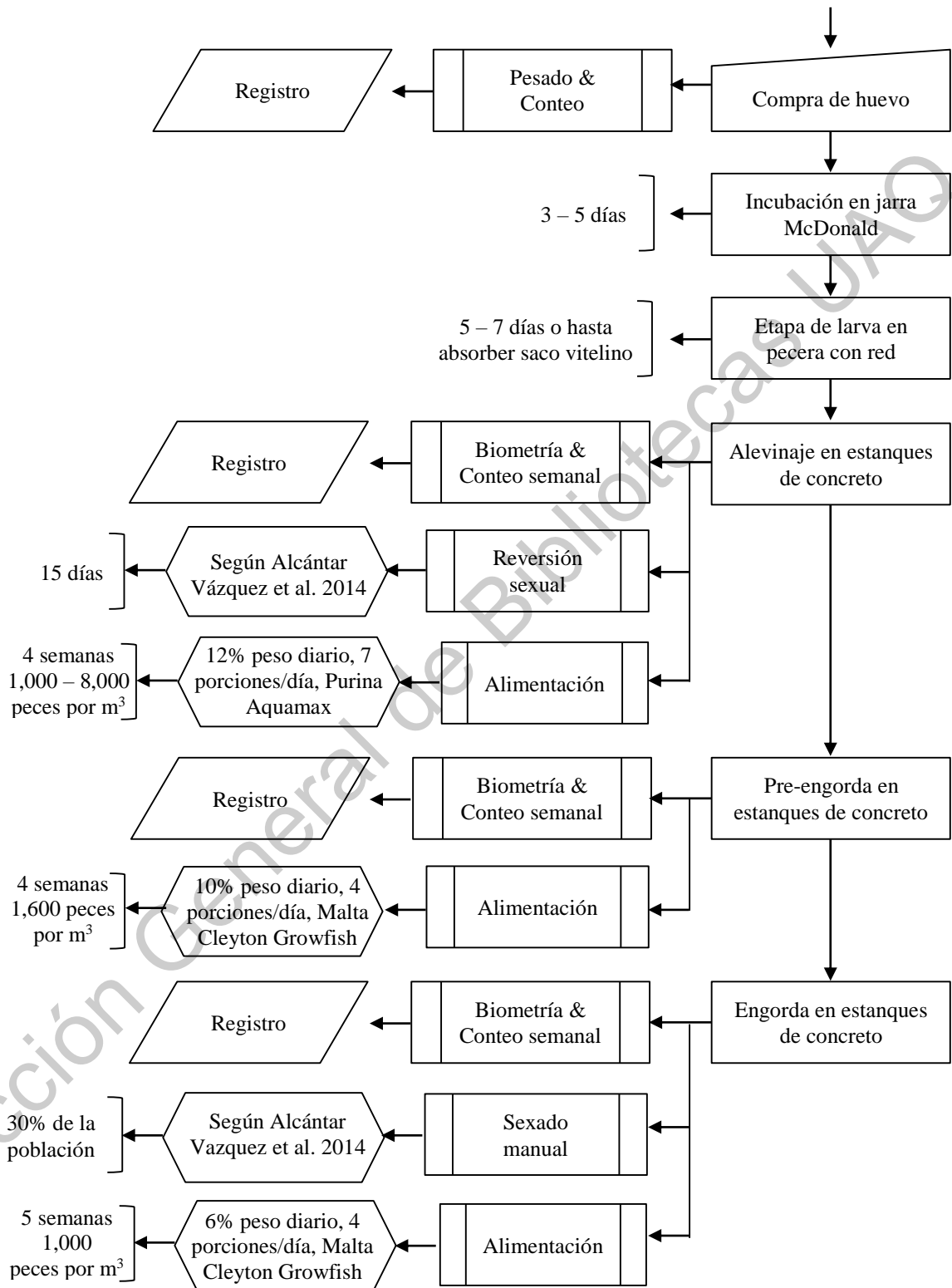


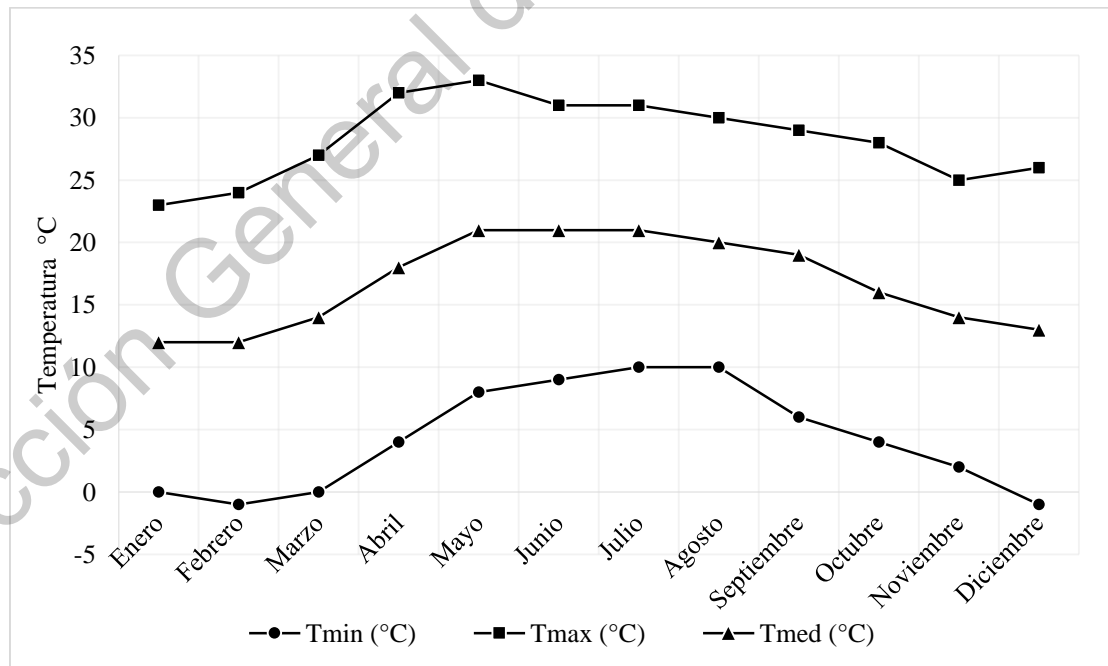
Figura 5. Diagrama de flujo de la ingeniería de detalle del proyecto.

## 6.2 Características climáticas del sitio de experimentación

Según la SAGARPA en México al mes de septiembre del 2017 existen 9,239 granjas acuícolas, de las cuales 4,623 se dedican a la producción de tilapia, 1,834 a trucha, 1,447 a camarón, 353 a carpa, 146 a bagre y 117 a ostión (Servicio de Información Agroalimentaria Pesquera, 2017). Sumando un total de 20 millones de hectáreas, a pesar de que el 48.3% de la superficie del país pertenece a la clasificación de clima semiárido (INEGI, 2016).

El sitio de experimentación se localiza dentro de un invernadero de polietileno tipo gótico con un 30% de sombra, y forma rectangular de 504 m<sup>2</sup>; el cual está situado en la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amazcala, en la comunidad de Amazcala del municipio del Marqués en Querétaro, México.

Un estudio de las temperaturas históricas promedio de la localidad, desde 1981 hasta el mes de junio del 2019, muestra un rango de temperatura que va desde los -1 °C hasta los 33 °C, como se puede ver en la Figura 6.



**Figura 6.** Temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin), y media (Tmed) de la localidad de Amazcala.

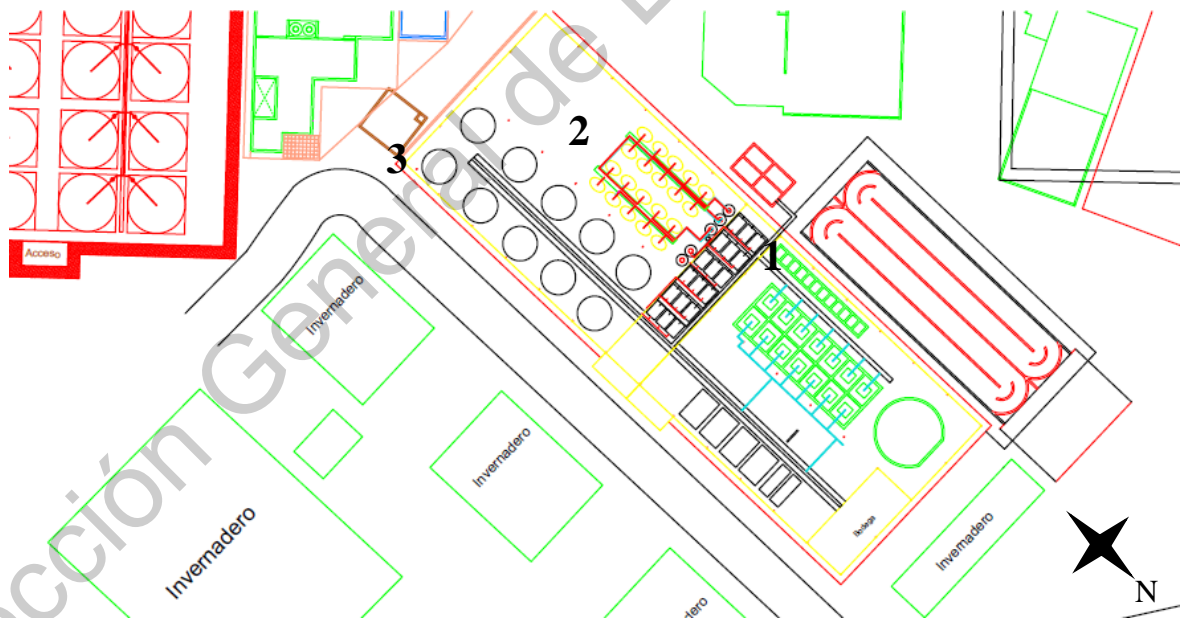


El análisis de los datos de temperatura ambiental fuera y dentro del invernadero, así como los de la temperatura del agua, permitió la elección del sistema de control de temperatura necesario, para que el sistema de recirculación pudiera mantener un rango de temperatura óptimo para el desarrollo de los objetos de estudio.

### 6.3 Levantamiento topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico que permitió el entendimiento de las estructuras sobre las que se construiría el sistema de recirculación, así como las ventajas y limitaciones de los sitios que se consideraron como opciones inicialmente.

Se seleccionaron los estanques rectangulares en un extremo del invernadero (marcados por un 1 en la Figura 7).



**Figura 7.** Traslape de invernadero acuícola en UAQ Campus Amazcala.

1: Estanques rectangulares de concreto seleccionados para las etapas de incubación, eclosión, larval y alevinaje, capacidad máxima de  $0.380 \text{ m}^3$ . 2: Estanques ovalados de geomembrana seleccionados para la etapa de pre-engorda, capacidad máxima de  $1 \text{ m}^3$ . 3: Estanques redondos de geomembrana seleccionados para la etapa de engorda, capacidad máxima de  $7 \text{ m}^3$ .

Los estanques son rectangulares con base de cemento y recubiertos por polipropileno color negro con drenaje inclinado hacia uno de sus lados. Las dimensiones son de 62 cm de profundidad, 64 cm de ancho y 96 cm de longitud, con una capacidad de 380 L. La conducción hidráulica se hizo con tubería de PVC (1 ¼ pulgadas) de color blanco.

Dentro de los estanques marcados con el número 1 en la Figura 7 se colocó el sistema de incubación y eclosión, de esta manera se puede mantener la propiedad modular del mismo. En este caso en particular el sistema se puede extender a 12 módulos, dado que el invernadero cuenta con 12 estanques. Más adelante se presenta el estudio financiero de este proyecto, que confirma su viabilidad como un producto o negocio.

Posteriormente los alevines de aproximadamente 5 g se transfieren a los estanques marcados con el número 2 en la Figura 7. Esto con el propósito de que se mantenga la densidad de siembra sugerida en la literatura permitiendo el desarrollo de los alevines en su etapa de pre-engorda. Finalmente los organismos se transfieren a los estanques marcados con el número 3 en la Figura 7 para su proceso de engorda.

Los estanques se seleccionaron de esta manera ya que la tilapia se desarrolla en altas densidades, mientras se mantenga una buena calidad en el agua con aireación y una constante renovación del agua (Rakocy, 1989). Al elegir estanques de tamaño relativamente pequeño para el sistema de incubación y eclosión es posible mantener tanto la temperatura como la concentración de oxígeno disuelto en el agua, estables y dentro de los parámetros necesarios para el crecimiento de los organismos.

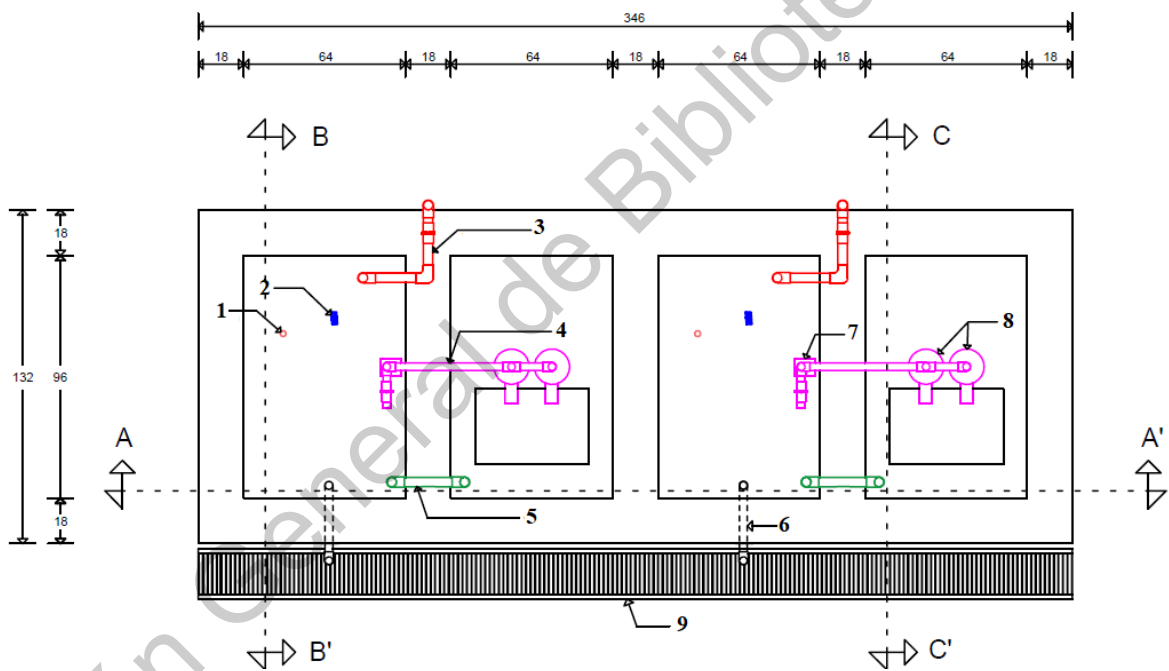
#### 6.4 Diseño del sistema de incubación y eclosión

El sistema de incubación y eclosión diseñado consta de un espacio físico, actuadores y un sistema de control como se muestra en las Figuras 8, 9 y 10.

Se observan cuatro estanques para el funcionamiento de dos sistemas de incubación y eclosión. Esto se debe a que uno de los estanques se utiliza como reservorio de agua, en éste se encuentra el calentador de inmersión, la línea de oxigenación, y una bomba que envía un flujo de agua directamente a las incubadoras. El propósito de este reservorio es enviar

agua a temperatura de entre 26 y 29 °C, con una oxigenación superior a 6.5 mg/L, con un flujo de 3 L/min hacia las jarras McDonald para evitar que el huevo en incubación se pegue y promover la oxigenación y desarrollo de los organismos.

La Figura 8 es el diseño en vista planta del sistema de alevinaje, se muestran las medidas de los estanques utilizados, además de los principales componentes del sistema. Así mismo, se muestran las indicaciones cómo se realizaron los cortes A – A', B – B', y C – C', para la creación de las Figuras 9 y 10. Más adelante se presentan los detalles de cada uno de los actuadores utilizados dentro del sistema de alevinaje.

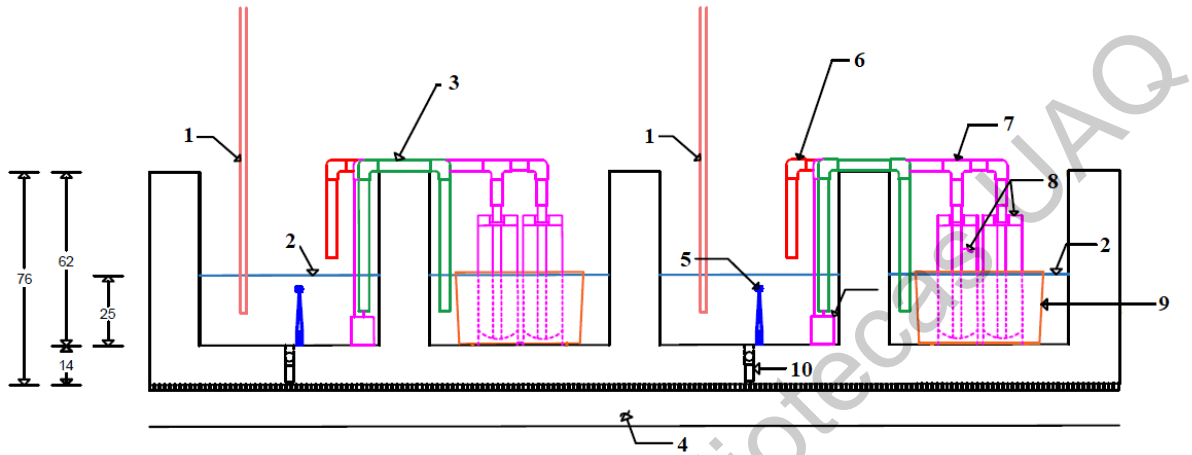


**Figura 8.** Sistema de acuicultura (Planta).

1: Línea de aireación, AirSep Topaz. 2: Calentador de inmersión. 3: Línea de alimentación hidráulica, tubería PVC hidráulico 1 ¼ " (32 mm). 4: Línea de recirculación hidráulica, manguera flexible. 5: Sifón para mantener niveles de agua, tubería PVC hidráulico 1 ¼ " (32 mm). 6: Salida a drenaje. 7: 8: Jarras McDonald. 9: Canal colector.

En la Figura 9 se pueden ver claramente cómo están organizados los actuadores y las entradas y salidas de agua. La línea de aireación permite oxigenar el agua del reservorio,

el calentador de inmersión permite una temperatura estable; mediante la recirculación de agua desde el reservorio directamente hasta las incubadoras o jarras McDonald.



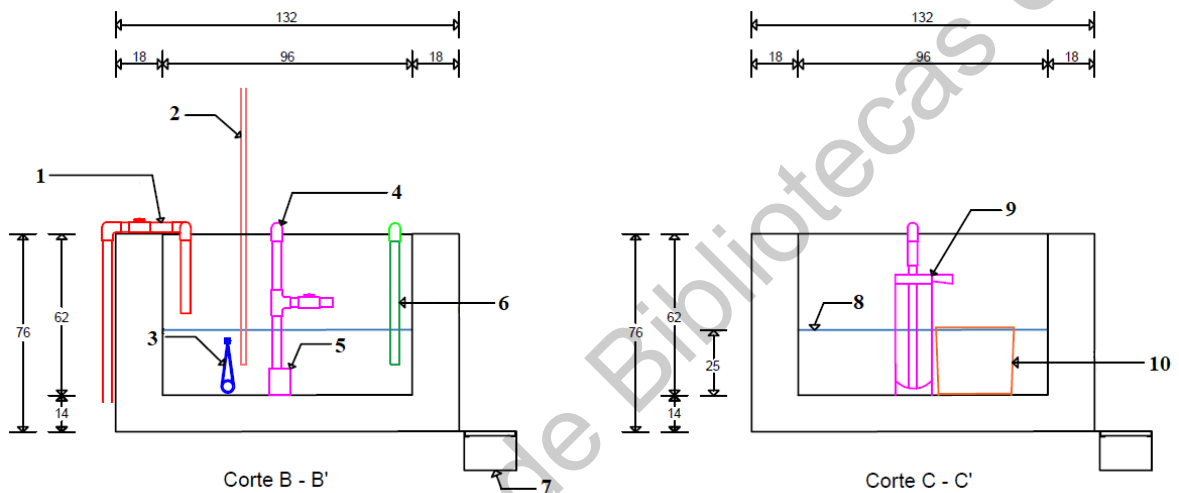
**Figura 9.** Sistema acuícola. (Corte A – A')

1: Línea de aireación, AirSep Topaz. 2: Nivel del agua. 3: Sifón para mantener niveles de agua, tubería PVC hidráulico 1 ¼ “ (32 mm). 4: Canal colector. 5: Calentador de inmersión. 6: Línea de alimentación hidráulica, tubería PVC hidráulico 1 ¼ “ (32 mm). 7: Línea de recirculación hidráulica, manguera flexible. 8: Jarras McDonald. 9: Depósito para excedentes de agua de las incubadoras. 10: Salida a drenaje.

El flujo de agua de 3 litros por minuto que llega a las incubadoras permite que el huevo se mantenga en movimiento y oxigenado como estaría en su entorno natural. El agua excedente de las incubadoras caerá directamente en los depósitos receptores, éstos contienen una red que permite la salida de agua pero no de los alevines, que mantiene su nivel gracias al sifón que está colocado entre los dos estanques.

Se observan en corte B – B’ de la Figura 10, la entrada de agua marcada con el número 1, y la salida de agua marcada con el número 7; y en el corte C – C’ se observa la colocación de las jarras McDonald y el depósito donde caen las larvas de alevín una vez que eclosionan. De esta manera se logra mantener los parámetros de las variables de temperatura y oxígeno disuelto en agua dentro de los rangos óptimos para el crecimiento de los organismos, sin que éstos sean dañados por los actuadores. Así mismo se mantiene una densidad de siembra lo suficientemente alta para que los organismos no sufran estrés debido a un bajo número y lo suficientemente bajo para evitar conductas agresivas (Eknath *et al.*, 2007).

El sistema de control tiene como objetivo encender y apagar los actuadores presentados en las Figuras 8, 9, y 10. Al controlar las bombas y resistencias mediante las lecturas de un sensor de temperatura se mantuvo la temperatura en un rango de entre 26 °C y 29 °C; adicionalmente se controla el encendido y apagado de un oxigenador para mantener la concentración de oxígeno disuelto en el agua entre 6 ppm y 9 ppm.



**Figura 10.** Sistema de acuicultura. (Corte B – B' y Corte C – C')

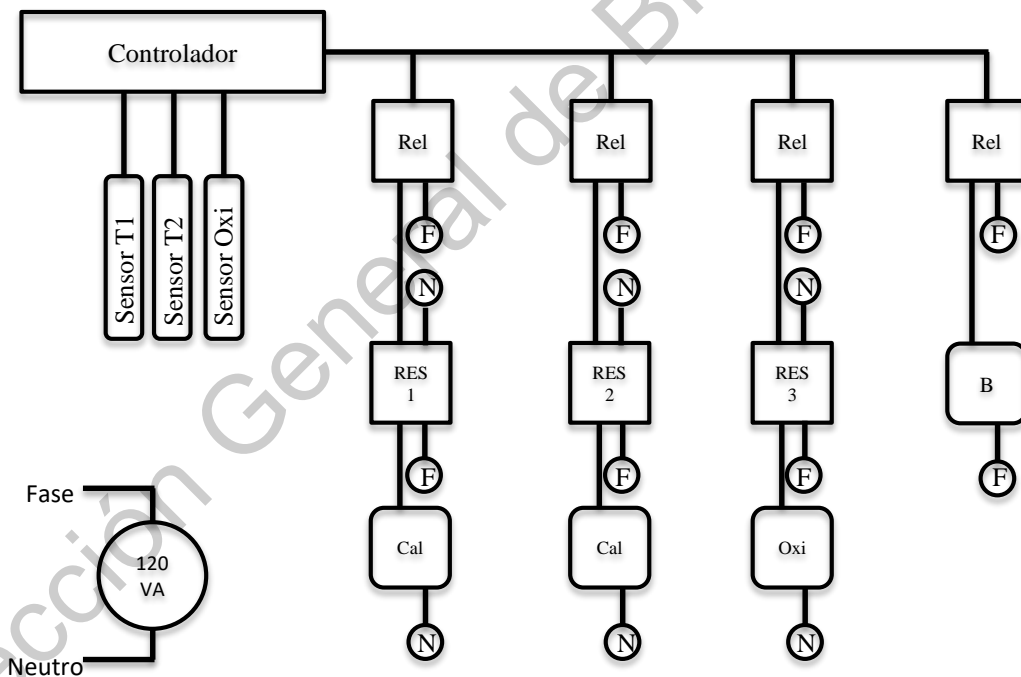
1: Línea de alimentación hidráulica, tubería PVC hidráulico 1 ¼ “ (32 mm). 2: Línea de aireación, AirSep Topaz. 3: Calentador de inmersión. 4: Línea de recirculación hidráulica, manguera flexible. 5: Bomba sumergible, Lawn Industry WP-950. 6: Sifón para mantener niveles de agua, tubería PVC hidráulico 1 ¼ “ (32 mm). 7: Canal colector. 8: Nivel del agua. 9: Jarras McDonald. 10: Depósito para excedentes de agua de las incubadoras. 10: Salida a drenaje.

La Figura 11 es un diagrama del sistema de control diseñado y utilizado en este proyecto. Se observa que es un sistema modular, por lo que se puede adaptar a las necesidades del cultivo; es decir, si se requiere agregar más módulos de control de temperatura o de oxígeno disuelto es posible realizarlo.

Remmerswaal y Hadas Israel (1998) mencionan en su metodología KISS para el diseño de sistemas de recirculación acuícola que los únicos actuadores que deben ser utilizados son los que resuelven un problema que necesita ser resuelto (Remmerswaal y Hadas Israel, 1998).

Se eligieron relevadores de estado sólido con una capacidad mayor a la necesaria para su función debido a los picos de corriente que se presentan durante el arranque de los actuadores. Cada uno es exclusivo para un actuador; de esta manera se facilita la identificación de errores y facilita el agregado, retiro, o intercambio de módulos de control. Esta característica lo vuelve funcional tanto para cultivos pequeños como para su uso en producción comercial.

En el caso del control de temperatura, el sistema de control está diseñado de manera que el sensor de temperatura se encuentra en el estanque de los peces, mientras que el calentador de inmersión se encuentra en el estanque reservorio. El controlador está programado para encender el calentador de inmersión cuando se detecte una temperatura menor a los 26.00 °C y apagarlo cuando se detecte una temperatura de 29.00 °C o superior.



**Figura 11.** Diseño de la potencia del sistema de control.

Rel: Relevador; RES 1: Relevador de estado sólido, 50 A; RES 2: Relevador de estado sólido, 50 A; RES 3: Relevador de estado sólido, 25 A; Cal: Calentador; Oxi: Oxigenador; Sensor T1: Sensor de temperatura 1; Sensor T2: Sensor de temperatura 2; Sensor Oxi: Sensor de oxígeno disuelto; B: Bomba; F: Fase; N: Neutro.

Cada estanque cuenta con su propio sensor de temperatura y calentador de inmersión; se tomó esta decisión debido a que aunque se encuentran colocados de manera contigua dentro del invernadero, las corrientes de aire, el movimiento de los trabajadores o incluso dependiendo si están en la orilla o en el centro de la línea de estanques, se va perdiendo el calor del agua. Económicamente fue viable ya tanto los sensores de temperatura como los calentadores de inmersión son económicos y de fácil acceso.

Para el control de la concentración de oxígeno disuelto, el sensor se encuentra colocado en uno de los estanques de los peces; mientras que cada uno de los reservorios cuenta con su propia entrada de oxígeno de manguera flexible con una piedra difusora en el extremo terminal. El controlador inicialmente se programó para encender al sensor detectar una concentración de oxígeno menor a 6.5 mg/L, y para apagar el oxigenador una vez alcanzados los 9.5 mg/L.

Más adelante se tomó la decisión de ampliar el rango por el riesgo a la pérdida de corriente a causa de tormentas o mantenimiento en la línea eléctrica. El rango se programó de 6.5 mg/L a 12.5 mg/L; de esta manera, se tiene un excedente de oxígeno que mantendrá la concentración por encima de la mínima requerida a lo largo de un apagón. En este caso se cuenta únicamente con 1 sensor de oxígeno disuelto y 1 oxigenador debido a costos. El sensor detecta la concentración de oxígeno disuelto de uno de los estanques, y enciende el actuador que envía oxígeno a través una manguera flexible a cada uno de los estanques reservorio.

Únicamente en el caso de las bombas se conecta más de un actuador a su relevador. Esto se debe a que las bombas se encuentran en funcionamiento constante, y sus requerimientos energéticos son bajos en comparación a los calentadores de inmersión o el oxigenador.

#### 6.5 Construcción del sistema acuícola.

El sistema acuícola se construyó con materiales disponibles dentro de la universidad, y algunos adquiridos de manera local. El prototipo se instaló en los estanques seleccionados dentro del invernadero acuícola de la UAQ Campus Amazcala.

Para el sistema de control se utilizaron sensores de oxígeno y temperatura así como los componentes presentados en la Tabla 5. Para la incubación del huevo se utilizaron 4 jarras McDonald J30 de Aquatic Eco-Systems, Inc. de 45.8 cm de alto, 15.9 cm de diámetro y con una capacidad de 6.86 L; éstas se colocaron dentro de los estanques para alevinaje conectadas al sistema de recirculación con oxigenación y un calentador de agua. En esta etapa de desarrollo los estanques se llenaron a un tercio de su capacidad máxima, con un volumen de agua de aproximadamente 135 L por estanque.

**Tabla 5.** Elementos utilizados en el sistema de control.

ACTUADOR	CANTIDAD	MARCA	MODELO
Sensor de oxígeno disuelto	1	Atlas Scientific, Environmental Robotics	
Sensor de temperatura	2	Adafruit	DS18B20
Relevador de estado sólido	2	Carlo Gavazzi	RM1A23A50
Relevador de estado sólido	1	Carlo Gavazzi	RM1A23A25
Fuente de poder	1	Mean Well	NES-75-12

Cuando el agua contiene una concentración de oxígeno menor a la concentración de saturación, el oxígeno ambiental se disolverá muy lentamente en el agua. Al mantener el agua a una temperatura de entre 26 °C y 29 °C, la concentración de saturación de oxígeno se mantendrá entre los 6.05 y los 8.09 mg/L (Boyd, sin fecha). Idealmente la concentración de oxígeno debe ser mayor a los 4.5 mg/L, ya que por debajo a los 4 mg/L los peces disminuyen su crecimiento y por debajo de los 3 mg/L llega a ser letal (Alicorp, 2010). Aunque existen distintos mecanismos para introducir oxígeno en el agua, los oxigenadores son los que otorgan un mayor control y pueden aumentar las concentraciones de una manera más eficiente (Boyd, sin fecha). Un aireador únicamente bombea aire atmosférico al agua, por lo que puede no ser suficiente para promover el crecimiento de los organismos. El uso de un oxigenador, que bombea oxígeno puro directamente al agua, permite alcanzar los niveles de saturación rápidamente, promoviendo un crecimiento más rápido y uniforme de los organismos (Krause *et al.*, 2006).



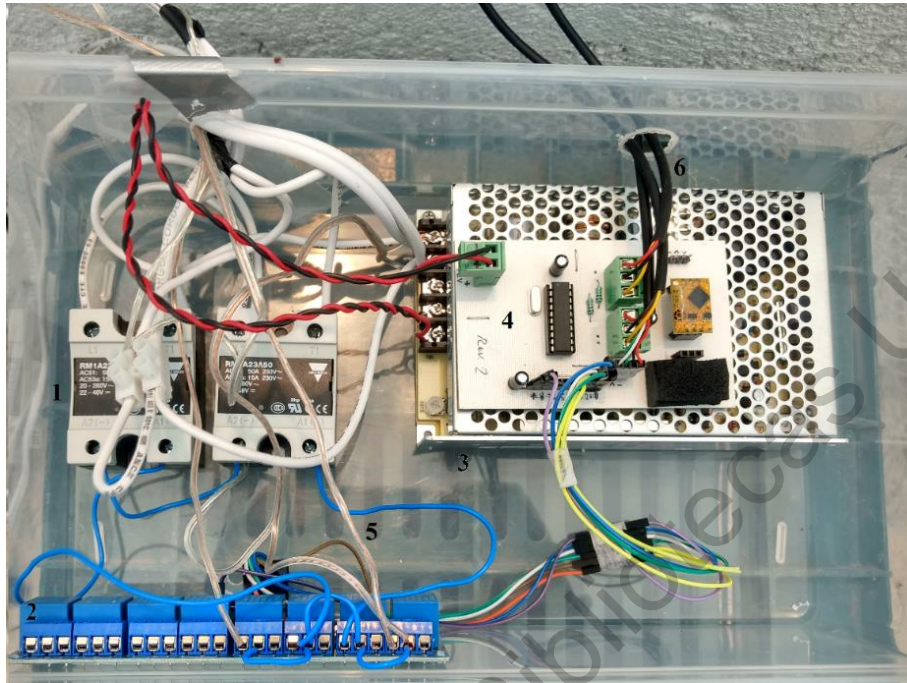
**Tabla 6.** Elementos utilizados en el sistema de incubación y alevinaje.

ACTUADOR	CANTIDAD	MARCA	MODELO	DETALLES
Bomba sumergible	2	Lawn Industry	WP-950	Q. Max: 950 L/h, H. Max: 1.8 m, 120 V, 14 W
Calentador de inmersión	2	Volteck	CAGU-10	38 L, 127V, 1900 W.
Oxigenador	1	AirSep	Topaz ASO13-105	110 V, 5 A, con flujo de 6 L/min



**Figura 12.** Prototipo de Sistema de Alevinaje presentado durante el CONIIN 2019.

1: Sensor de oxígeno disuelto, Atlas Scientific. 2: Relevadores. 3: Relevadores de estado sólido. 4: Controlador. 5: Dietilestilbestrol. 6: Fuente de poder. 7: Jarras McDonald. 8: Sensores de temperatura.



**Figura 13.** Sistema de control.

1: Relevadores de estado sólido. 2: Relevadores. 3: Fuente de poder. 4: Controlador. 5: Cableado para oxigenador. 6: Sensores de temperatura y oxígeno disuelto.

Para seleccionar la bomba adecuada para el sistema se deben conocer las necesidades de presión, el flujo deseado, la altura de columna requerida, y las características del fluido a bombear. Ya que en acuicultura se asume que se bombeará agua lo que se debe de tomar en cuenta es el rango de temperatura, la concentración de minerales en el agua, y el tipo de partículas que podrían estar contenidas en ésta (Bankston y Baker, 1994).

El sistema de recirculación obtiene su agua del acuífero del Valle de Amazcala, que cubre parcialmente el municipio de El Marqués. Dentro de las principales poblaciones se encuentran Santa María Begoña, Chichimequillas, Amazcala, Tierra Blanca, Santa Cruz, Atongo, San Rafael entre otras. El Valle de Amazcala pertenece a la Región Hidrológica N° 12 Cuenca del Río Lerma.



**Figura 14.** Sistema instalado en estanques del invernadero acuícola de la UAQ Amazcala.

1: Línea de alimentación hidráulica. 2: Sifón para mantener el nivel del agua. 3: Jarra McDonald. 4: Sistema de control. 5: Calentador de inmersión. 6: Depósito para excedentes de agua de las incubadoras. 7: Salida a drenaje. 8: Bomba sumergible.

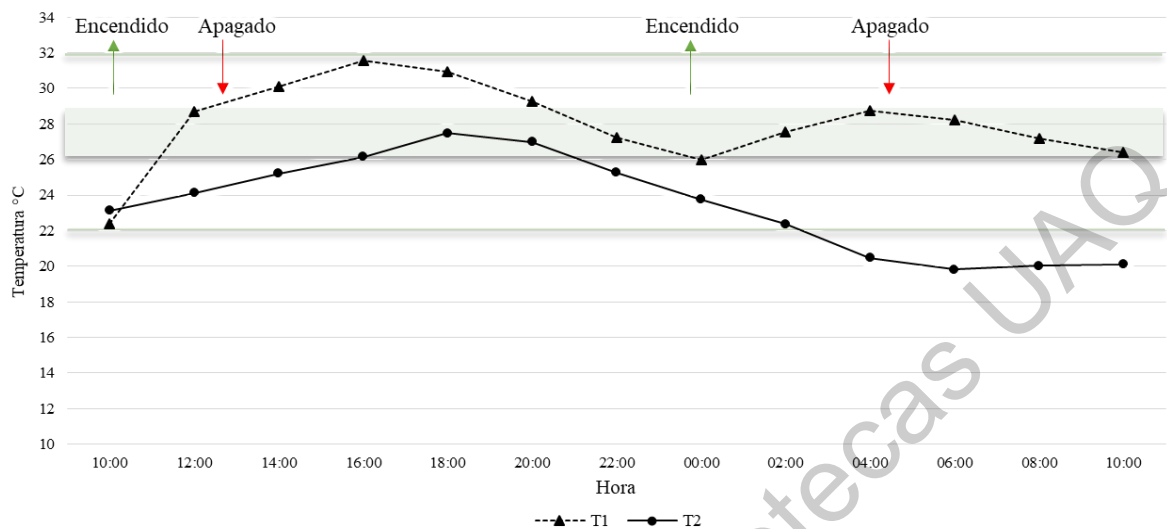
La Comisión Nacional de las Zonas Áridas considera la acuicultura dentro de sus lineamientos para el desarrollo de zonas rurales con deficiencia de agua; de manera que se aproveche el agua de mejor manera y se obtenga alimento de calidad en zonas con inseguridad alimentaria. Querétaro se encuentra en el lugar 28 a nivel nacional en producción

acuícola, representando un 0.25% de la producción total (CONAPESCA, 2009). Aumentar la producción y de esta manera afectar la calidad de vida de las personas de las comunidades alrededor de las unidades de producción acuícola es posible en el semidesierto, si se cuenta con la infraestructura y la tecnología necesaria para lograr una producción estable.

## 6.6 Validación del sistema en vacío

Una vez que se instaló el sistema de control y los actuadores se hicieron pruebas para encontrar fugas y corregirlas antes de realizar las pruebas en vacío. Esto fue importante principalmente porque no se utilizó pegamento en la instalación, ya que posterior a este proyecto, el espacio debe estar disponible para su uso por otros estudiantes.

Se realizaron mediciones de la temperatura del agua a lo largo de un día en el mes de Agosto del 2019. El sistema de control está diseñado para mantener la temperatura del agua entre los 26 °C y los 29 °C; se puede observar en la Figura 15, donde T1 es la temperatura del agua controlada con el sistema de recirculación, y T2 es la temperatura del agua sin ningún control. T1 se mantiene por encima de los 26 °C en cualquier momento, a diferencia de T2 que llega hasta los 19.83 °C a las 6 de la mañana. El sistema on/off de control abierto, mantiene la temperatura del agua por encima del límite inferior (26°C); sin embargo se necesita agregar otro equipo para controlar el límite superior (29°C) en condiciones de invernadero. En la Figura 15 un recuadro gris marca el intervalo de temperatura recomendado para un crecimiento óptimo de la tilapia; dos líneas grises marcan los límites superior e inferior de temperatura para que la tilapia se siga desarrollando. Cualquier temperatura mayor al límite superior o menor al límite inferior causará una disminución en el crecimiento de los organismos, y llevado al extremo causará la muerte de éstos.



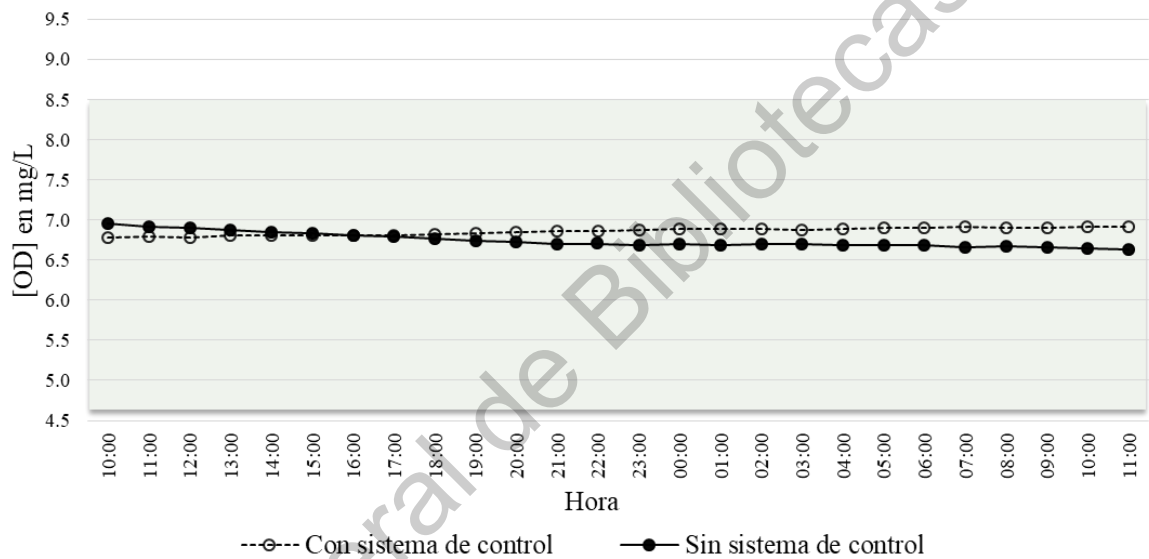
**Figura 15.** Monitoreo de la temperatura del agua con control térmico en el sistema de recirculación (T1) y sin control térmico (T2).

La temperatura es uno de los factores ambientales de mayor influencia en la acuicultura, ya que afecta directamente en el crecimiento de los peces, y se considera temperatura óptima aquella en la que el pez presenta un aumento de peso mayor (Al-Asgah y Ali, 1997). De acuerdo a varios autores, para un correcto desarrollo de tilapia en su etapa de eclosión y hasta los 10 g es de vital importancia mantener una temperatura relativamente estable superior a los 26 °C e inferior a los 35 °C (Modadugu y Acosta, 2004; El-Sayed, 2006; Alcántar-Vázquez *et al.*, 2018). Si la temperatura del agua es inferior a los parámetros mencionados los organismos pueden entrar en un proceso de letargia, desacelerando su desarrollo y haciendo más lento el desarrollo de biomasa (FAO, 2010).

La concentración de oxígeno disuelto puede ser afectada por la temperatura y por la recirculación del agua, lo que lo convierte en un limitante potencial de la producción (El-Sayed, 2006).

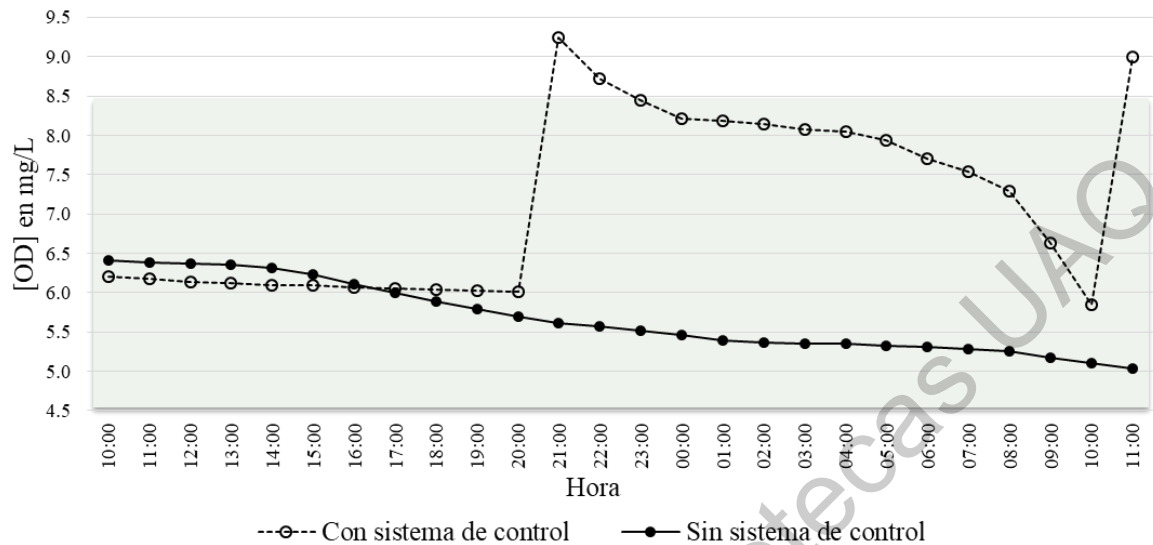
Se monitoreó la concentración del oxígeno disuelto en el agua con y sin sistema de control, y con y sin organismos vivos, Figuras 16 y 17. Se observa que en ausencia de alevines, la concentración de oxígeno disuelto en el agua permanente estable. En el caso en el que está presente el sistema de control pero no hay alevines, incluso aumenta un poco la

concentración del mismo debido a una caída de agua que permite la oxigenación de este flujo. Por el contrario, al estar presentes los alevines es claro que el oxígeno disminuye de una manera más importante, sobre todo por la mañana. Asimismo, el sistema de control entra en acción entre las 20 y 21 horas, y entre las 10 y 11 horas. Finalmente se colocó una marca color azul para indicar el rango de concentración de oxígeno disuelto en agua apropiado para el crecimiento de la tilapia.



**Figura 16.** Monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto en el agua, sistema en condiciones de vacío. La concentración de oxígeno disuelto se mantiene sin cambios significativos y dentro de los parámetros de saturación esperados dada la altitud del sitio de estudio.

Un estudio sobre la calidad del agua en granjas de producción acuícola enfatiza la importancia de mantener la concentración de oxígeno disuelto en el agua por encima de los niveles mínimos. En este estudio demuestra que los organismos caen en un proceso de letargia tan sólo dos horas después de que la concentración de oxígeno cae por debajo de los niveles necesarios, y pueden morir en un par de horas si éste cae, en el caso de la tilapia, por debajo de los 4 mg/L (Yokoyama, 2003).



**Figura 17.** Monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto en el agua, sistema con alevines. Al introducir alevines al sistema, la [OD] disminuye a lo largo del día, el sistema de control enciende el oxigenador a las 20:00 y 10:00. Sin sistema de control la [OD] puede disminuir hasta niveles letales en poco más de 24 horas.

### 6.7 Validación del sistema con tilapia

La compra de semilla de tilapia del Nilo variedad supermacho se realizó el 24 de agosto de 2019; se tomaron mediciones de la temperatura, termómetro TP101 con un rango de -50 °C a 300 °C, y se obtuvo una muestra para determinar su dureza. Durante la compra de los organismos se determinó que había un aproximado de 900 huevos, de los cuales se estimó que alrededor de 100 no estaban fertilizados debido a su coloración, estimando 800 organismos potenciales.

**Tabla 7.** Características del agua de Ixmiquilpan, Hidalgo.

VARIABLE	MEDICIÓN
Temperatura al exterior del invernadero	24.5 °C
Temperatura al interior del invernadero	40.5 °C
Temperatura del agua	29.5 °C
Dureza	117 mg/L CaCO <sub>3</sub>

Para el traslado del huevo se utilizó un sistema de incubación portátil adaptado para su funcionamiento con la batería de un automóvil. El diseño pertenece a la Maestra en Ciencias Julieta Sánchez Velázquez y al Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón, miembros del Cuerpo Académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro en el Campus Conca.

La Figura 18 muestra el sistema de incubación portátil en funcionamiento, durante el traslado de los huevos de tilapia desde Ixmiquilpan hasta la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amazcala. La Figura 18 también presenta el sistema de incubación fijo; éste utiliza una jarra McDonald, un calentador de inmersión, y una bomba sumergible para mantener el flujo constante de agua, y a su vez mantener los huevos oxigenados y en movimiento.



**Figura 18.** Sistema de incubación portátil con huevo de tilapia. Se observa el sistema instalado en un automóvil con el huevo adquirido en el fondo de la incubadora.



El total de los huevos se colocaron en las jarras de incubación obteniendo a los 4 a 6 días más de 800 larvas de tilapia, lo que significa que más del 88.89% de los huevos fertilizados tuvieron una correcta eclosión; dado que al porcentaje de eclosión estimado en sistemas artificiales es del 85%, el sistema propuesto cumple y supera la expectativa de eclosión (El-Sayed, 2006).



**Figura 19.** Sistema de incubación con organismos en etapa de huevo y larva de tilapia.

Celick en el 2012 menciona que el 85% de supervivencia de las larvas de tilapia puede esperarse al utilizar incubadoras artificiales en condiciones ideales (Celik, 2012); el sistema de recirculación propuesto supera este porcentaje de supervivencia a la etapa larval en condiciones no ideales, agua con concentración de  $\text{CaCO}_3$  superior a los 250 mg/L.

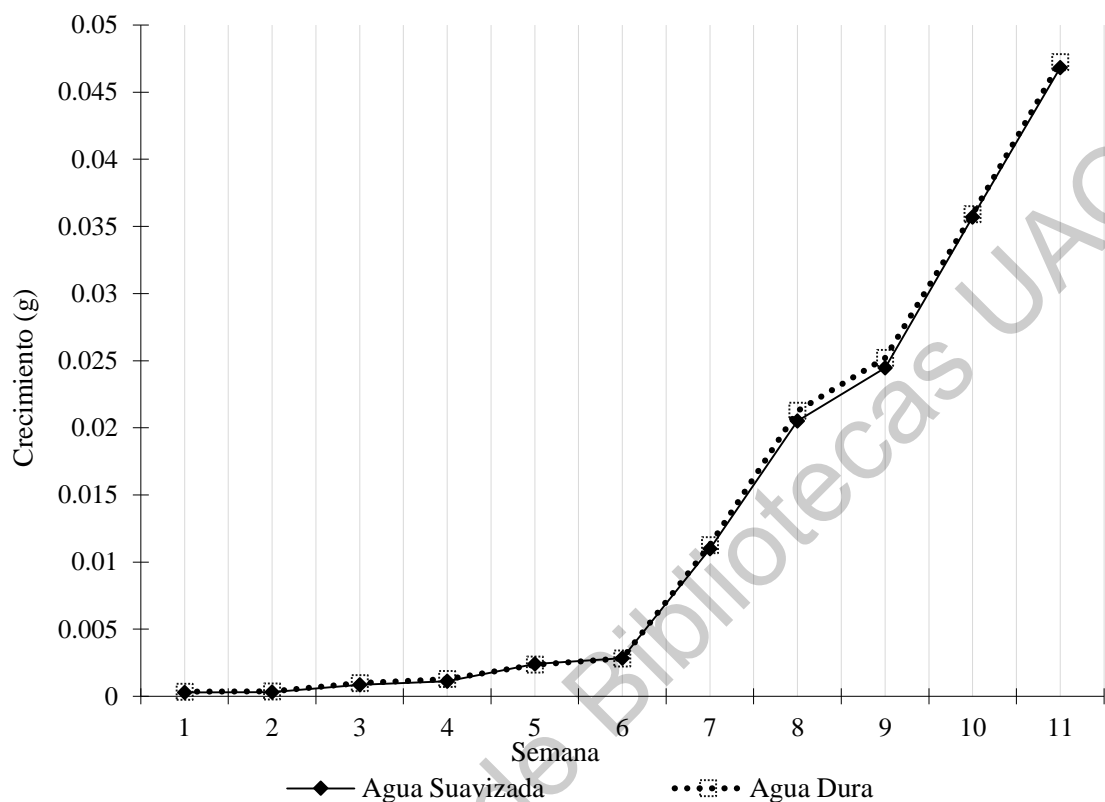
Cabe recalcar que una interrupción no intencional de la electricidad provocó la muerte de 431 peces en una noche. El porcentaje de supervivencia antes de este incidente en el estanque con agua suavizada era de 98.69 %, y el del estanque con agua dura de 98.55 %.

**Tabla 8.** Parámetros de producción

	AGUA SUAVIZADA	AGUA DURA
NÚMERO INICIAL	460	415
NÚMERO FINAL	119	120
SUPERVIVENCIA (%)	25.869	28.915
PESO INICIAL PROMEDIO (g)	0.138	0.144
PESO FINAL PROMEDIO (g)	5.572	5.715
PESO GANADO (%)	3937.549	3865.680
LONGITUD INICIAL PROMEDIO (mm)	16.802	17.0236
LONGITUD FINAL PROMEDIO (mm)	56.347	54.941
LONGITUD GANADA (%)	235.346	222.738

El cálculo y comparación de los diferentes parámetros de producción permitieron evaluar la eficiencia y rendimiento de un cultivo de tilapia crecido en agua con concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  distintas. El porcentaje de supervivencia determinó la tolerancia que tuvieron los organismos ante las condiciones de este experimento. Este porcentaje de supervivencia se vió afectado por dos incidentes no pertenecientes al experimento.

En la Figura 20 se observan los pesos promedio obtenidos en las biometrías semanales de ambos estanques. Se observa que no existe una diferencia en la ganancia de peso dependiendo del tratamiento, sino que la ganancia de peso aumenta de manera esperada a lo largo del tiempo. El peso inicial promedio se obtuvo a los 15 días de vida de los organismos; no se realizó antes debido a que éstos eran demasiado pequeños y delicados, por lo que existía el riesgo a realizar una medición incorrecta y de dañar a los alevines. El peso final promedio se realizó a las 13 semanas de vida de los organismos con ayuda de una balanza Precisa BJ610C, en donde se colocó un vaso con agua, se marcó en ceros la balanza y se introdujo al pez dentro del vaso para obtener así su peso húmedo.

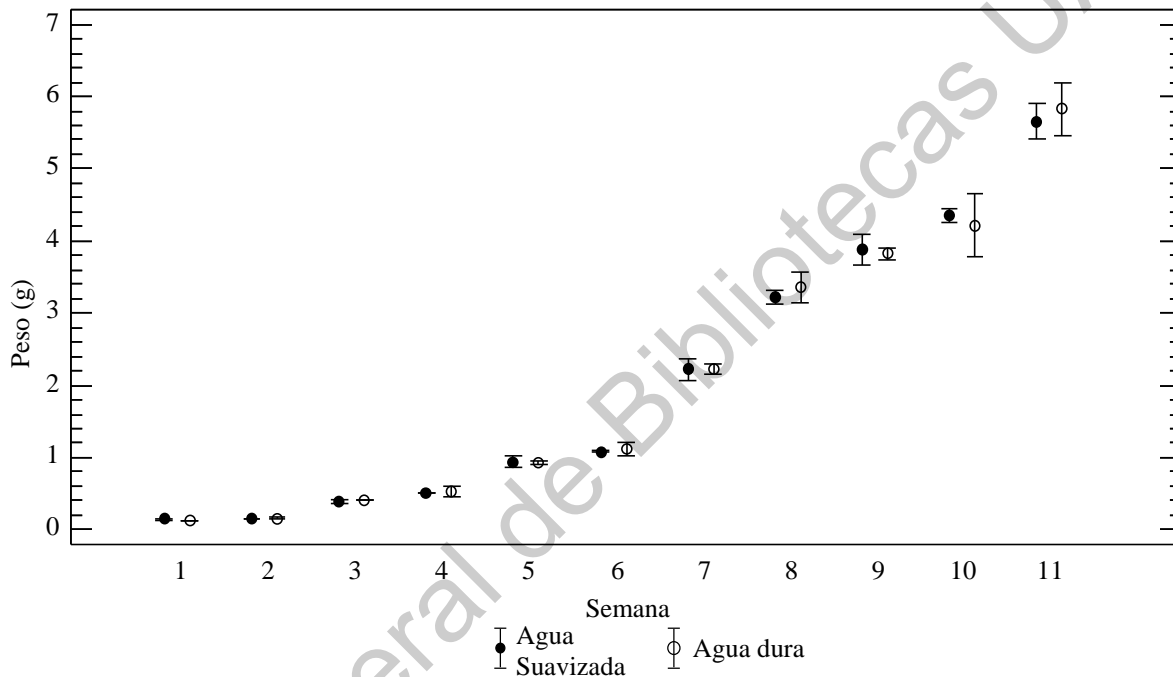


**Figura 20.** Gráfico de ganancia de peso por semana promedio por estanque.

Se realizó una comparación de la ganancia peso de los organismos en este experimento con el de otros experimentos realizados en el mismo sitio. En su tesis Aguilera Puga (2012) reporta un aumento de peso de 2.30 g a 4.73 g en 4 semanas; Rojas Hernández (2018) reporta un aumento de peso de 1.66 g a 28.74 g en 60 días; Oviedo Olvera (2019) reporta un aumento de 0.80 g a 12.06 g en 8 semanas (Puga, 2012; Oviedo Olvera, 2018; Rojas Hernández, 2018).

Adicional al monitoreo de la ganancia de peso de los organismos se realizaron análisis para determinar si existen diferencias significativas entre tratamientos. Se realizó un análisis de varianza de un factor, ANOVA, para determinar si hay diferencias significativas entre las medias del peso obtenidas durante las biometrías semanales. En la Figura 21 se observan las mediciones de peso de ambos estanques con sus intervalos de error estándar. El

estanque con agua suavizada, que contenía el agua suavizada, presenta un rango de error menor comparado contra las mediciones que el estanque con agua dura; sin embargo, no existe una diferencia significativa entre el peso de los organismos en los distintos tratamientos.



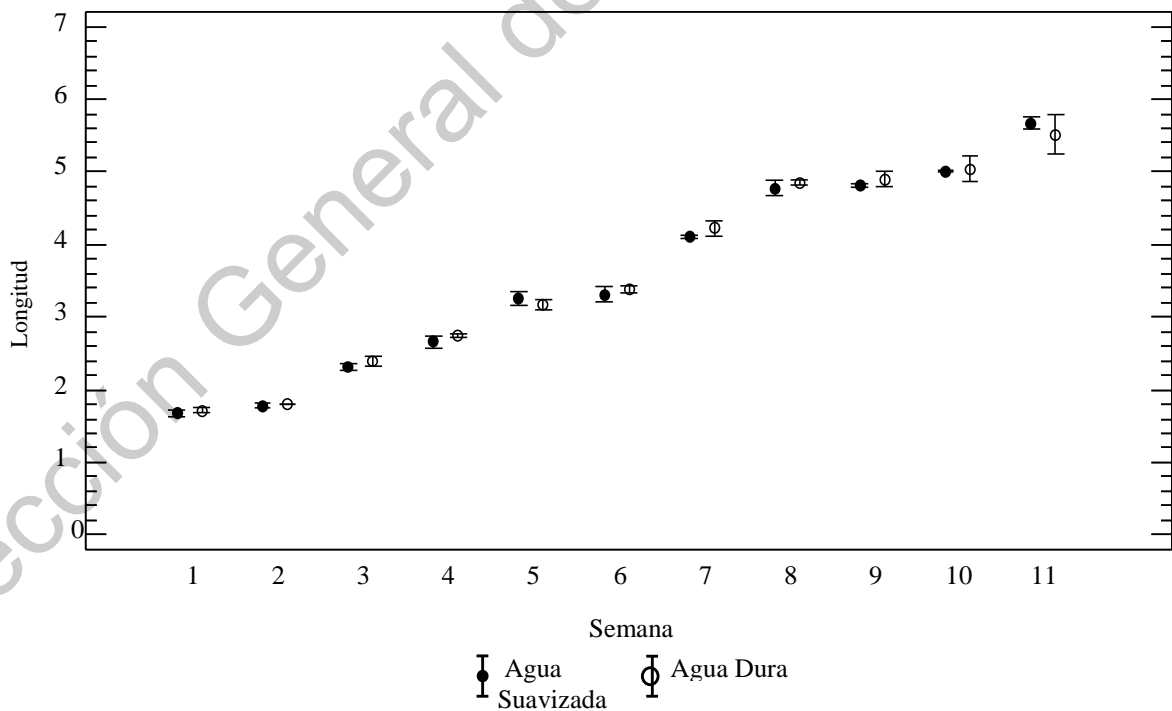
**Figura 21.** ANOVA para peso por estanque a lo largo del experimento con intervalos de error estándar.

El ANOVA de dos vías demostró que el tiempo tuvo mayor efecto en el peso de los organismos, 93.95 % con una  $P < 0.0001$ , y el tratamiento únicamente afecta el peso en un 0.01 % con  $P = 1$ . La interacción entre ambos factores mostró un efecto de únicamente 0.02 %  $P = 0.6670$ . Por lo que no se observa una diferencia significativa en cuanto a la ganancia de peso en los organismos en su etapa de alevinaje, con agua con distintas concentraciones de minerales.

**Tabla 9.** ANOVA de dos vías para peso.

FUENTE DE VARIACIÓN	INTERACCIÓN	ESTANQUE	TIEMPO
PORCENTAJE TOTAL DE VARIACIÓN	0.02 %	0.01 %	93.95 %
P	1.0000	0.6670	<0.0001
SIGNIFICANCIA < $\alpha$	No	No	Sí
GRADOS DE LIBERTAD	9	1	9
SUMA DE CUADRADOS	0.08286	0.03097	504.2
MEDIA CUADRÁTICA	0.009207	0.03097	56.02
F	0.05522	0.1857	336.0

La talla se midió con un vernier Mitutoyo Absolute IP67 de manera semanal. Al igual que con la variable de peso, se realizó un análisis de varianza ANOVA para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de la longitud obtenidas durante las biometrías semanales. En la Figura 22 se observan las mediciones de longitud de ambos estanques con sus intervalos de error estándar.



**Figura 22.** Análisis ANOVA para longitud por estanque a lo largo del experimento con intervalos de error estándar.

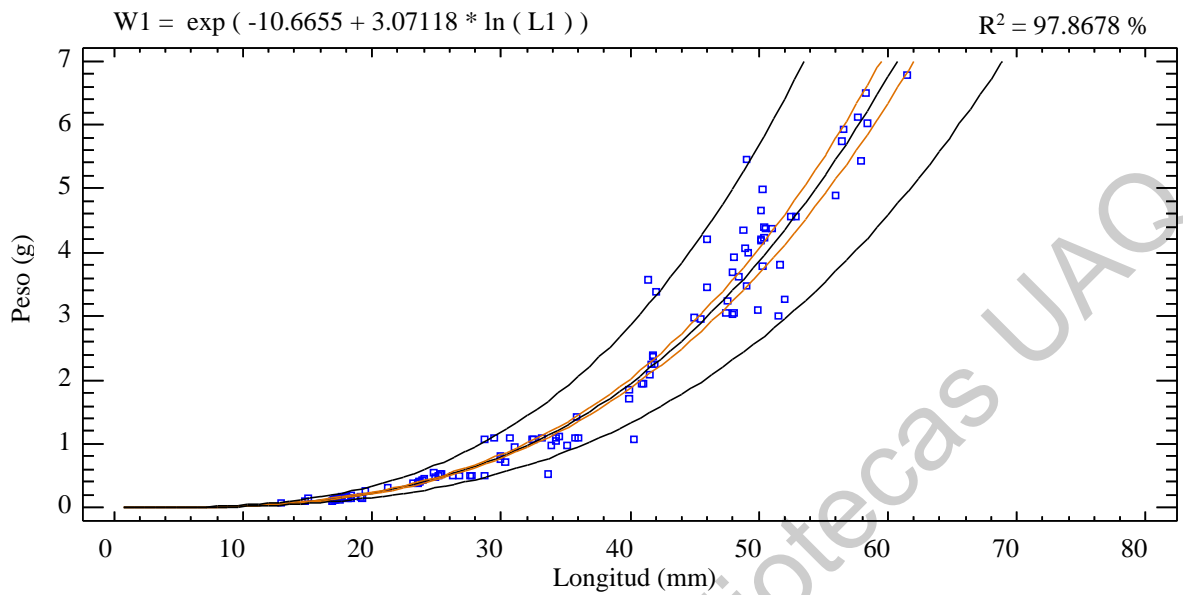
El ANOVA de dos vías indica, que al igual que con el peso, el factor que influye mayormente sobre el desarrollo de longitud de los organismos es el tiempo. El tratamiento en el que se desarrollaron únicamente influye en su longitud en un 0.03 % con una P de 0.2246, en comparación a un 96.57 % de influencia del tiempo con una P menor a 0.0001.

**Tabla 10.** ANOVA de dos vías para longitud.

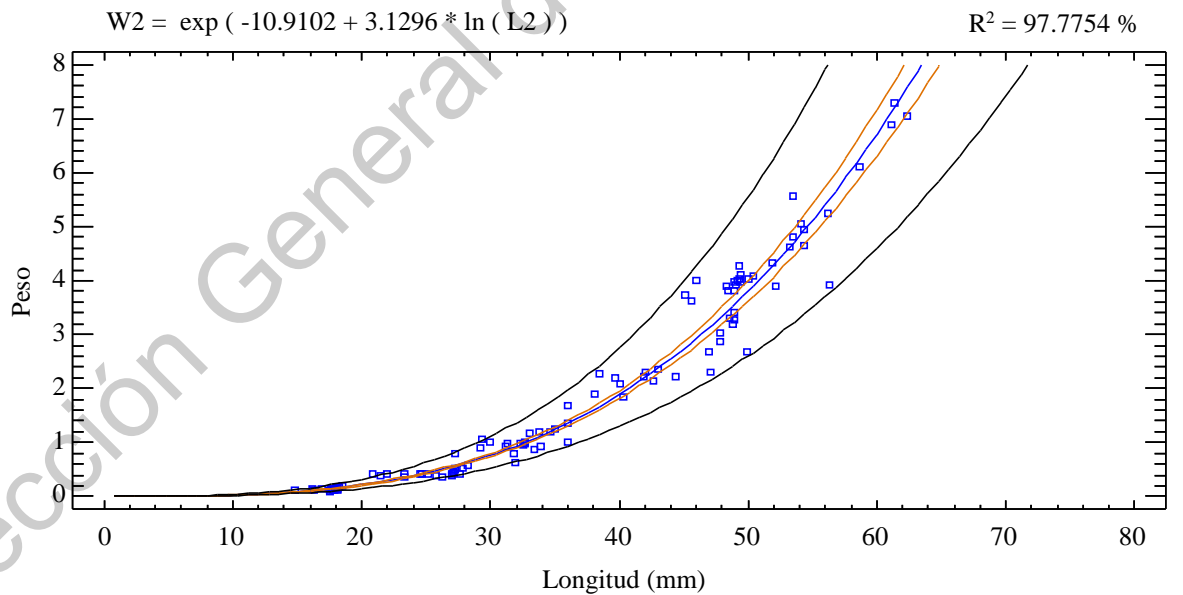
FUENTE DE VARIACIÓN	INTERACCIÓN	ESTANQUE	TIEMPO
PORCENTAJE TOTAL DE VARIACIÓN	0.04 %	0.03 %	96.57 %
P	0.9871	0.2246	<0.0001
SIGNIFICANCIA < $\alpha$	No	No	Sí
GRADOS DE LIBERTAD	9	1	9
SUMA DE CUADRADOS	12.65	8.494	31820
MEDIA CUADRÁTICA	1.405	8.494	3534
F	0.2455	1.484	617.4

Las Figuras 23 y 24 son análisis de la relación longitud-peso de los peces. Estos análisis se utilizaron para conocer la condición de crecimiento de los peces y si éste es isométrico. Se considera que si los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza el crecimiento es isométrico; es decir, que los organismos están ganando peso y longitud de manera proporcional. Si la medición se encuentra fuera de las líneas negras el crecimiento es alométrico.

En la Figura 23 se observan tres organismos completamente fuera de las líneas, y dos sobre las líneas que determinan la isometría. En esta Figura se muestran un total de 110 mediciones, de las cuales, como se mencionó, únicamente cinco muestran un crecimiento alométrico. En el caso de la ecuación presentada en la Figura 23 se muestra factor alométrico de 3.07118; al ser éste muy cercano a 3, se considera que la población se desarrolla de forma isométrica con una correlación del 97.77 %.



**Figura 23.** Gráfico de modelo ajustado de Peso vs. Longitud de estanque con agua suavizada. Cada uno de los cuadrados azules representa una medición de un organismo. La línea azul representa la predicción del modelo, las líneas naranjas la desviación de estándar y las líneas negras el intervalo de confianza.



**Figura 24.** Gráfico de modelo ajustado de Peso vs. Longitud de estanque con agua dura. Cada uno de los cuadrados azules representa una medición de un organismo. La línea azul representa la predicción del modelo, las líneas naranjas la desviación de estándar y las líneas negras el intervalo de confianza.

La Figura 24 muestra el crecimiento de los organismos en el estanque con agua dura, que es el que contiene agua proveniente directamente del acuífero de Amazcala, y por consiguiente una mayor concentración de minerales. En este caso no se observan valores fuera del intervalo de confianza. Sin embargo, el factor alométrico indica una isometría similar a la del estanque con agua suavizada con una correlación del 97.86 %.

El factor alométrico en el caso del con agua dura es de 3.12946, éste es mayor al del estanque con agua suavizada debido a que el único valor fuera de la isometría es muy atípico. A pesar de que este factor se distancia más de 3 que el del estanque con agua suavizada no representa un crecimiento alométrico en la población general del estanque con agua dura.

Safran, en 1992, realizó un estudio observando la variabilidad del factor de alometría con distintas densidades de siembra, y determinó que se puede considerar un crecimiento isométrico con los valores de  $3.13 \pm 0.396$  (Safran, 1992).

## 6.8 Calidad del agua

A lo largo del experimento se midieron las variables de calidad de agua de más cuidado en un cultivo acuícola. Debido a problemas de logística los análisis de nitritos, nitratos, ortofosfatos y potasio quedan pendientes hasta el arribo de los reactivos necesarios. Dado que la concentración de nitrógeno amoniacal es una de las variables que más provocan mortalidad dentro de los cultivos ésta es la que se midió de manera semanal.

Así mismo la dureza del agua se midió en equivalentes de  $\text{CaCO}_3$ ; se mantuvieron dos concentraciones de minerales mediante el uso de agua purificada para diluir el agua del estanque con agua suavizada. Cada semana se realizó un recambio del 100 % del agua de los estanques; en el caso del agua suavizada se utilizaron 100 L de agua purificada en cada uno de los recambios, y el resto del volumen se llenó con agua del acuífero de Amazcala. A pesar de utilizar una marca comercial de agua purificada, ésta presentó variaciones en la concentración de minerales, por lo que se recomienda la utilización de agua de otra fuente para futuros trabajos y experimentos.



Se eligió un diseño de recirculación para evitar el consumo excesivo de agua; sin embargo, semanalmente se realizó un recambio de agua del 80 % para mantener las características físico-químicas del agua dentro de los parámetros recomendados. Shnel *et al.* (2002) crearon un sistema de recirculación acuícola que llevó a los organismos desde la etapa de alevinaje hasta la etapa de engorda, con menos de 1 m<sup>3</sup> de agua por kilogramo de tilapia, únicamente reponiendo el agua perdida por evaporación. En este sistema se mantuvieron niveles de nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, y fosfatos dentro de los parámetros sugeridos, y sin afectar la integridad de la tilapia. Sin embargo, en este sistema los costos de producción exceden las ganancias volviéndolo insostenible (Shnel *et al.*, 2002).

**Tabla 11.** Monitoreo de calidad del agua

Semana	Dureza total [CaCO <sub>3</sub> ] mg/L		Nitrógeno amoniacal (mg/L)	
	Estanque Agua suavizada	Estanque Agua dura	Estanque Agua suavizada	Estanque Agua dura
1	295	313	0.5667	1.5454
2	270	305	0.2447	0.2447
3	335	347	0.8629	0.8629
4	265	335	1.2235	0.4379
5	249	334	0.4765	3.1037
6	135	323	0.5667	1.5326
7	320	350	2.8719	2.8977
8	328	373	0.2061	4.1598
9	375	369	2.6530	3.3484
11	309	329	1.2106	4.6234
12	191	367	1.1848	2.9878

Estudios han reportado fluctuaciones en la concentración de los compuestos nitrogenados a lo largo de su cultivo. García Trejo *et al.* (2016) menciona valores de 0.8 a 0.9 mg/L de nitrógeno amoniacal en un sistema de recirculación. Mientras que otros autores mencionan concentraciones de 0.43 mg/L y 0.01 a 0.04 mg/L en distintos sistemas de

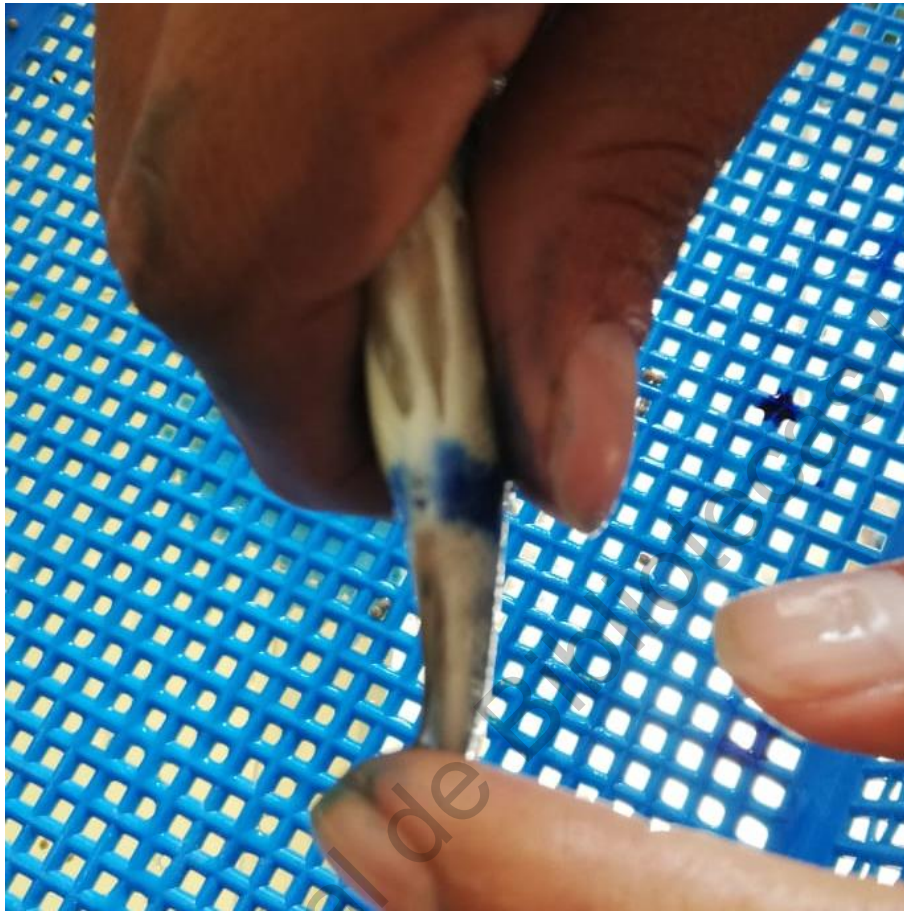
recirculación en distintas geografías y densidades de siembra (Azaza *et al.*, 2013; Mirea *et al.*, 2013).

## 6.9 Reversión sexual

Las hormonas más utilizadas para realizar la feminización de la tilapia son estradiol-17 $\beta$  con una efectividad del 60-80 %, etinilestradiol con una eficiencia del 90-100 %, y dietilestilbestrol con una eficiencia del 90-100 %. Durante los primeros 15 días de vida se aplicó un tratamiento de la hormona dietilestilbestrol  $\geq$  99% HPLC, para realizar una reversión sexual; es decir, que los organismos XY adquiridos desarrollaran características sexuales femeninas. La hormona se aplicó en el alimento siguiendo la metodología propuesta por Alcántar-Vázquez en 2014, donde se obtuvo una reversión de toda la población sometida al tratamiento (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

Se debe prestar atención a la cantidad de hormona del tratamiento, ya que una mayor cantidad de hormona no significa una mayor tasa de conversión. Kefi (2012) aplicó 3 dosis diferentes de hormonas masculinizantes, 40, 60, y 90 mgMT/kg de alimento, a una población de *Oreochromis andersonii*. Los resultados fueron 93.4 % de efectividad con 40 mgMT/kg, 94.4 % con 60, y 79.3 % con 90. Adicionalmente, en su estudio Kefi comprobó que los esteroides anabólicos utilizados promueven el crecimiento de los organismos; los que recibieron una dosis de 60 mgMT/kg de alimento tuvieron un crecimiento significativamente mayor a los del grupo control (Kefi *et al.*, 2012).

A los 85 días de edad se realizó un sexado manual de una muestra aleatoria de la población. Se aplicó una gota de azul de metileno a los organismos seleccionados para facilitar la observación de las características sexuales. Se puede observar en la Figura 25, un organismo de los seleccionados en la muestra aleatoria teñido con azul de metileno. Claramente se observa el oviducto teñido de azul, que es una característica sexual presente únicamente en las hembras. Por lo que se puede concluir que la reversión sexual se realizó de manera exitosa.



**Figura 25.** Sexado manual de uno de los organismos seleccionados aleatoriamente.

Se realizó un sexado manual del total de la población a la cual se le aplicó el tratamiento para la reversión sexual, 230 organismos. Se obtuvieron 222 hembras, 3 machos, y 5 organismos que no se pudieron clasificar debido a su tamaño. Por lo que se puede concluir que la hormona tuvo 96.5217 % de efectividad, con potencial de llegar hasta el 98.6956 % dependiendo de la revisión de los organismos que aún no se pudieron clasificar. Siguiendo la recomendación de Alcántar Vázquez (2014) se separaron en distintos estanques los organismos identificados como hembras, los identificados como machos, y en un tercer estanque los que no se pudieron identificar o que mostraban una papila atípica (Alcántar Vázquez *et al.*, 2014).

## 6.10 Estudio financiero

Se propuso el desarrollo de una cadena de producción de tilapia eficiente y sostenible en la región del semidesierto queretano. El producto final son alevines de tilapia resistentes a agua dura, sin hormonas, producidos de manera social y ambientalmente responsable. Se considera que cada uno de los módulos propuestos puede incubar un máximo de 100,000 huevos de tilapia, con un porcentaje de eclosión esperado mayor al 90%. Si este sistema funciona a su máxima capacidad se produciría un aproximado de 1,000,000 de larvas cada 5 semanas.

Esta producción sería un reto para la capacidad de los estanques dentro de la institución, y provocaría la necesidad de la venta constante de alevines para mantener organismos sanos y un sistema sostenible. Se identifica como competencia principal los centros de producción de alevines, en los estados aledaños a Querétaro que venden alevines de tilapia del Nilo y de Mozambique de alrededor de 5 g a \$1.20 MXN. El principal diferenciador del producto propuesto es la ausencia de hormonas exógenas, y su adaptabilidad a características no ideales en su medio.

Patrick O'Rourke (1996) realizó un análisis de gastos para un prototipo de granja acuícola desde la etapa de incubación y eclosión hasta la de engorda, similar al propuesto en este análisis. Propone que aproximadamente 88,443 USD serán necesarios como inversión inicial, sin considerar la construcción de las estructuras necesarias (O'Rourke, 1996)

**Tabla 12.** Proyecto de inversión

	ESCENARIO BASE	ESCENARIO OPTIMISTA	ESCENARIO PESIMISTA
TIR	78 %	141 %	5 %
TREMA	20 %	20 %	20 %
PAYBACK (AÑOS)	1.91	1.60	3
PAYBACK (MESES)	22.92	19.21	35.95

**Tabla 13.** Estudio financiero.

ESCENARIO BASE			
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
COSTOS FIJOS	\$ 460,080	\$ 486,764	\$ 514,996
COSTOS VARIABLES	\$ 48,280	\$ 57,453	\$ 68,943
ACTIVO FIJO	\$ 357,200	\$ 321,480	\$ 285,760
INGRESOS	\$ 1,620,000	\$ 1,846,800	\$ 2,123,820
GASTOS FINANCIEROS	\$ 101,744	\$ 65,559	\$ 24,379
PAGO DE PRÉSTAMO	\$ 262,149	\$ 298,335	\$ 339,190
FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 677,266	\$ 1,172,160	\$ 756,970
ESCENARIO OPTIMISTA			
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
COSTOS FIJOS	\$ 414,072	\$ 430,220	\$ 446,999
COSTOS VARIABLES	\$ 43,452	\$ 53,011	\$ 65,734
ACTIVO FIJO	\$ 357,120	\$ 321,408	\$ 285,696
INGRESOS	\$ 2,160,000	\$ 2,548,800	\$ 3,058,560
GASTOS FINANCIEROS	\$ 60,025	\$ 21,943	\$ -
PAGO DE PRÉSTAMO	\$ 405,959	\$ 443,751	\$ -
FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 1,117,065	\$ 1,023,544	\$ 1,619,494
ESCENARIO PESIMISTA			
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
COSTOS FIJOS	\$ 506,088	\$ 545,562	\$ 588,116
COSTOS VARIABLES	\$ 53,108	\$ 53,108	\$ 69,019
ACTIVO FIJO	\$ 392,920	\$ 353,628	\$ 314,336
INGRESOS	\$ 1,080,000	\$ 1,188,000	\$ 1,306,800
GASTOS FINANCIEROS	\$ 213,585	\$ 169,055	\$ 133,046
PAGO DE PRÉSTAMO	\$ 126,344	\$ 155,585	\$ 191,593
FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 167,512	\$ 179,554	\$ 222,249

## 7. CONCLUSIONES

El sistema de alevinaje permite el control de la temperatura y oxígeno disuelto en el agua, manteniendo una diferencia de 5 – 10 °C con los otros estanques del sitio de experimentación. Éste es funcional para producciones a pequeña escala; sin embargo, debido a su característica modular, es posible aumentar el tamaño de la población controlada. Aunque durante el monitoreo del funcionamiento en vacío del sistema de control se obtuvieron resultados optimistas, se recomienda incorporar una fuente de energía alternativa a la eléctrica. Esto debido a que si ésta falta tanto el sistema de control como los actuadores dejan de funcionar generando mortalidad debido a la falta de oxígeno en el agua y la falta de control en la temperatura.

El sistema de alevinaje permitió que *O. niloticus* variedad supermacho ganara peso y talla de manera adecuada, al mantener la temperatura del agua entre 26 y 29 °C, y la concentración de oxígeno disuelto por encima de 4.5 mg/L.

Organismos *Oreochromis niloticus* variedad supermacho fueron sometidos a distintas concentraciones de minerales en el agua evaluados como equivalentes de CaCO<sub>3</sub>. Después de evaluar su desarrollo dentro del sistema de alevinaje, mediante biometrías semanales, no se observaron diferencias significativas en el desarrollo de los organismos de los tratamientos. Por lo que se puede concluir que la concentración de CaCO<sub>3</sub> utilizada en los tratamientos no afecta el crecimiento de los organismos, permitiendo un crecimiento uniforme en peso y talla, sin importar la concentración de minerales en el agua. Sin embargo, la hipótesis propuesta se debe asumir como falsa, ya que no se observó un desarrollo mayor al utilizar agua dura; no se observa una diferencia estadísticamente significativa en el peso, la talla, o la isometría de los organismos de distintos tratamientos.

El tratamiento de reversión sexual se realizó con éxito, con un porcentaje de efectividad superior al 96 %. Las diferencias en la concentración de minerales en el agua y la temperatura no afectan la efectividad de este tratamiento para promover el desarrollo de características femeninas en los organismos. El sexado manual para comprobar la efectividad

del tratamiento de reversión sexual comprobó que se obtuvieron resultados dentro de lo esperado.

En una posterior cruce de los machos feminizados con machos normales permitirá la obtención de los primero machos YY. A pesar de que éstos presentan características similares a los machos XY, éstos presentarán una forma más fusiforme y una mejor tasa de conversión alimenticia.

Dirección General de Bibliotecas UAG

## 8. LITERATURA CITADA

Al-Asgah, N. A. y Ali, A. (1997) “Growth performance and body composition of *Oreochromis niloticus* reared at different water temperatures”, *Animal Research*, 46(4), pp. 331–338. doi: 10.1051/animres:19970404.

Al-Hakim, N. *et al.* (2013) “Induction of mono-sex (male tilapia) population by inter-specific hybridization and hormonal sex reversal of Nile tilapia”, *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 17(1), pp. 23–33.

Alatorre-Jacome, O. *et al.* (2011) “Aquaculture water quality for small-scale producers”, en *Aquaculture and the Environment - A Shared Destiny*, pp. 125–140. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/46845>.

Alcántar-Vázquez, J. P. *et al.* (2018) “Desempeño de la progenie de supermachos de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (L.) bajo condiciones comerciales”, en Perera-García, Ma. A., Pérez-Vega, M. H., y Gómez-Díaz-Durán, L. M. (eds.) *Producción y Manejo de los Recursos Acuáticos en el Trópico*. Edición di. Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, pp. 100–110.

Alcántar Vázquez, P. *et al.* (2014) *Manual para la producción de SUPERMACHOS de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)* Manual para la producción de supermachos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) Manual para la producción de supermachos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Disponible en: <http://www.unpa.edu.mx/investigacion/27> de feb 2015 lectura.pdf.

Alicorp (2010) *Manual de crianza de tilapia*.

Ansah, Y. B., Frimpong, E. A. y Hallerman, E. M. (2014) “Genetically-Improved Tilapia Strains in Africa: Potential Benefits and Negative Impacts”, *Sustainability*, 6, pp. 3697–3721. doi: 10.3390/su6063697.

Asche, F. y Smith, M. D. (2018) “Viewpoint: Induced Innovation in Fisheries and Aquaculture”, *Food Policy*, 76(January), pp. 1–7. doi: 10.1016/j.foodpol.2018.02.002.



Assis, A. De *et al.* (2017) “The development of genetically improved red tilapia lines through the backcross breeding of two *Oreochromis niloticus* strains”, *Aquaculture*, 472, pp. 17–22. doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.06.042.

Azaza, M. S. *et al.* (2013) “The effects of rearing density on growth, size heterogeneity and inter-individual variation of feed intake in monosex male Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L.”, *Animal*, 7(11), pp. 1865–1874. doi: 10.1017/S1751731113001493.

Bankston, J. D. y Baker, F. E. (1994) “Selecting the Proper Pump”, (372).

Bartley, D. M., Rana, K. y Immink, A. J. (2000) “The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries”, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(3), pp. 325–337. doi: 10.1023/A:1016691725361.

Boyd, C. E. (sin fecha) “Types of Aeration and Design Considerations”.

Calixto Escobar, N.-H. (2011) “Pargo- UNAM: Una alternativa en el mundo de la acuicultura tropical”, *Programa de Documentación de Casos de Éxito de Innovación en el Sector Agroalimentario*, pp. 8–56.

Celik, E. (2012) “TILAPIA CULTURE REVIEW Tilapia Culture Review Egemen Celik”.

Chakraborty, S. B. *et al.* (2011) “Growth of mixed-sex and monosex Nile tilapia in different culture systems”, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11(1), pp. 133–140. doi: 10.4194/trjfas.2011.0117.

Chen, J. *et al.* (2018) “A Review of Genetic Advances Related to Sex Control and Manipulation in Tilapia”, 49(2), pp. 277–291. doi: 10.1111/jwas.12479.

Cheung, W. W. L., Bruggeman, J. y Buthenschön, M. (2018) “Projected changes in global and national potential marine fisheries catch under climate change scenarios in the twenty-first century”, en Barange, M. et al. (eds.) *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 76–82.

Cnaani, A., Gall, G. A. E. y Hulata, G. (2000) “Cold tolerance of tilapia species and hybrids”, *Aquaculture International*, 8(4), pp. 289–298. doi: 10.1023/A:1009299109614.

CONAPESCA (2009) “Propuesta para el desarrollo del cultivo de tilapia en México 2009-2030”.

Del’Duca, A. *et al.* (2013) “Evaluation of the presence and efficiency of potential probiotic bacteria in the gut of tilapia (*Oreochromis niloticus*) using the fluorescent in situ hybridization technique”, *Aquaculture*. Elsevier B.V., 388–391, pp. 115–121. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.01.019.

Diana, J. S. *et al.* (2013) “Responsible Aquaculture in 2050: Valuing Local Conditions and Human Innovations Will Be Key to Success”, *BioScience*, 63(4), pp. 255–262. doi: 10.1525/bio.2013.63.4.5.

Ekasari, J. *et al.* (2015) “Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance”, *Aquaculture*. Elsevier B.V., 441, pp. 72–77. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.02.019.

Eknath, A. E. *et al.* (2007) “Genetic improvement of farmed tilapias: Composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding”, *Aquaculture*, 273(1), pp. 1–14. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.09.015.

El-Sayed, A.-F. M. (2006) *Tilapia culture*. Oxfordshire, UK: CABI Publishing. doi: 10.1079/9780851990149.0000.

El-Zaeem, S. Y. y Salam, G. M. (2013) “Production of genetically male tilapia through interspecific hybridization between *Oreochromis niloticus* and *O. aureus*”, *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(4), pp. 802–812.

FAO (2009) “Desarrollo de la acuicultura. Gestion de los recursos geneticos”, en *Orientaciones técnicas para la pesca responsable*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 148.

FAO (2010) “Aquaculture in desert and arid lands: development constraints and opportunities.”, (July).

FAO (2014) “Informe del Taller de Acuicultura Integral de Pequeña Escala”, *Food and Agriculture of the United Nations*, pp. 1–34.

FAO (2016) *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016*. Rome: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. doi: 978-92-5-306675-9.

Fitzsimmons, K. (2000) “Tilapia aquaculture in Mexico”, *Tilapia aquaculture in the Americas*, 2(1), pp. 171–183. Disponible en: <http://cals.arizona.edu/azaqua/ista/reports/FitzsimMexico.pdf>.

Fleckenstein, L. J., Tierney, T. W. y Ray, A. J. (2018) “Comparing biofloc, clear-water, and hybrid recirculating nursery systems (Part II): Tilapia (*Oreochromis niloticus*) production and water quality dynamics”, *Aquacultural Engineering*. Elsevier B.V., 82(Part II), pp. 80–85. doi: 10.1016/j.aquaeng.2018.06.006.

Genaro Soto-Zarazúa, M. *et al.* (2010) “Development of efficient recirculation system for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture using low cost materials”, *African Journal of Biotechnology*, 9(32), pp. 5203–5211. Disponible en: <http://www.academicjournals.org/AJB>.

Gracia, A. (2014) “Recursos marinos de México”, en Cervantes-Ramírez, M. C., Franco-González, A. M., y Juárez-Gutiérrez, M. del C. (eds.) *Geografía ambiental de México*. Primera ed. Ciudad de México: UNAM, pp. 151–154.

Heule, C., Salzburger, W. y Böhne, A. (2014) “Genetics of Sexual Development: An Evolutionary Playground for Fish”, *Genetics*, 196(March), pp. 579–591. doi: 10.1534/genetics.114.161158.

Huang, S., Ye, L. y Chen, H. (2017) “Sex determination and maintenance : the role of DMRT1 and FOXL2”, *Asian Journal of Andrology*, 19, pp. 619–624. doi: 10.4103/1008-682X.194420.

Iliyasu, A., Mohamed, Z. A. y Terano, R. (2016) “Comparative analysis of technical efficiency for different production culture systems and species of freshwater aquaculture in

Peninsular Malaysia”, *Aquaculture Reports*. Elsevier B.V., 3, pp. 51–57. doi: 10.1016/j.aqrep.2015.12.001.

INEGI (2016) *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*. Editado por I. N. de E. y G. (México).

Islam, M. Z., Sarder, R. I. y Akhand, R. I. (2015) “Growth performance of genetically male tilapia derived from YY male, sex reversed male tilapia and mixed sex tilapia of *Oreochromis niloticus* in earthen pond aquaculture system in Bangladesh”, *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(3), pp. 186–191.

Kefi, A. S. *et al.* (2012) “Growth, reproduction and sex ratios in *Oreochromis andersonii* (Castelnau, 1861) fed with varying levels of 17 $\alpha$ -methyl testosterone”, *Journal of Aquaculture Research and Development*, 3(8). doi: 10.4172/2155-9546.1000155.

Kim, S.-Y. *et al.* (2009) “Foxl2, a Forkhead Transcription Factor, Modulates Nonclassical Activity of the Estrogen Receptor- $\alpha$ ”, *Endocrinology*, 150(11), pp. 5085–5093. doi: 10.1210/en.2009-0313.

Kobayashi, T., Kajiura-Kobayashi, H. y Nagahama, Y. (2003) “Induction of XY sex reversal by estrogen involves altered gene expression in a teleost, tilapia”, *Cytogenetic and Genome Research*, 101(3–4), pp. 289–294. doi: 10.1159/000074351.

Krause, J. *et al.* (2006) *Design guide for recirculating aquaculture system*, Rowan University. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:DESIGN+GUIDE+FOR+RECIRCULATING+AQUACULTURE#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Design+guide+for+recirculating+aquaculture+system#1>.

Lanzino, M. *et al.* (2013) “DAX-1, as an androgen-target gene, inhibits aromatase expression: a novel mechanism blocking estrogen-dependent breast cancer cell proliferation”, *Cell Death and Disease*, 4, pp. 1–10. doi: 10.1038/cddis.2013.235.

Laurén, D. J. y McDonald, D. G. (1986) “Influence of Water Hardness, pH, and Alkalinity on the Mechanisms of Copper Toxicity in Juvenile Rainbow Trout, *Salmo*

gairdneri”, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43, pp. 1488–1496. doi: 10.1139/f86-186.

Little, D. C., Newton, R. W. y Beveridge, M. C. M. (2016) “Aquaculture: A rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential”, *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), pp. 274–286. doi: 10.1017/S0029665116000665.

Mamun, A., Sarder, R. I. y Rahman, M. M. (2016) “Growth Performance of Genetically Male (GMT) and Hormone Induced Sex Reversed Male Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in Earthen Pond Aquaculture System”, *Bangladesh Journal of Zoology*, 38(2), pp. 163–169.

Marino, M., Galluzzo, P. y Ascenzi, P. (2006) “Estrogen Signaling Multiple Pathways to Impact Gene Transcription”, *Current Genomics*, 7, pp. 497–508.

Melgar Bravo, L. A. (2007) “Proposiciones con punto de acuerdo que exhorta a la Secretaría de Economía a realizar las acciones necesarias para verificar las importaciones comerciales tilapia provenientes de la República Popular China.”

Mirea, C. C. *et al.* (2013) “Influence of Different Water Temperature on Intensive Growth Performance of Nile Tilapia ( *Oreochromis Niloticus* , Linnaeus , 1758 ) in a Recirculating Aquaculture System”, *Lucrări Științifice-Seria Zootehnie*, 60, pp. 227–231.

Modadugu, V. G. y Acosta, B. (2004) “A review of global tilapia farming practices”, *Aquaculture Asia*, IX(1), pp. 7–12. doi: 10.3109/9780203308905-5.

Mojica, F. J. *et al.* (2010) “Tilapia 2020: prospectivo del sistema-producto nacional de Tilapia en México”, *Sistema Producto Nacional de Tilapia*, p. 285. Disponible en: [www.gbcbiotech.com/.../tilapia/Tilapia 2020-Prospectiva sistema-producto%252...](http://www.gbcbiotech.com/.../tilapia/Tilapia 2020-Prospectiva sistema-producto%252...)

Nadarajah, S. y Flaaten, O. (2017) “Global aquaculture growth and institutional quality”, *Marine Policy*. Elsevier Ltd, 84(April), pp. 142–151. doi: 10.1016/j.marpol.2017.07.018.

Nagahama, Y. (2005) “Molecular mechanisms of sex determination and gonadal

sex differentiation in fish”, *Fish Physiology and Biochemistry*, 31(2–3), pp. 105–109. doi: 10.1007/s10695-006-7590-2.

O’Rourke, P. D. (1996) “The Economics of Recirculating Aquaculture Systems”, en *Conference of Recirculating Aquaculture Systems*, pp. 49–67.

de Oliveira Alves, G. F. *et al.* (2017) “Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation”, *Aquaculture*, 479(June), pp. 564–570. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.06.029.

Omasaki, S. K. *et al.* (2016) “Genotype by environment interaction for harvest weight , growth rate and shape between monosex and mixed sex Nile tilapia ( *Oreochromis niloticus* )”, *Aquaculture*. Elsevier B.V., 458, pp. 75–81. doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.02.033.

Opiyo, M. A. *et al.* (2018) “A review of aquaculture production and health management practices of farmed fish in Kenya”, *International Journal of Veterinary Science and Medicine*. Elsevier B.V., 6(2), pp. 141–148. doi: 10.1016/j.ijvsm.2018.07.001.

Oviedo Jiménez, A., Félix Cuencas, L. y Gutiérrez-Yurrita, P. J. (2016) “Aquaculture Potential and Environmental Impact of Tilapia *Oreochromis aureus* Strain Rocky Mountain Cultivated in Floating Cages in Dams at High Altitude , but in Tropical Areas”, *Academia Journal of Agricultural Research*, 4(November), pp. 653–666. doi: 10.15413/ajar.2016.0187.

Oviedo Olvera, M. V. (2018) *Evaluación de los parámetros de producción en un cultivo de tilapia (O. niloticus) utilizando un alimento suplementado con microalgas*. Universidad Autónoma de Querétaro.

Pauly, D. y Zeller, D. (2017) “Comments on FAOs State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA 2016)”, *Marine Policy*. Elsevier, 77(January), pp. 176–181. doi: 10.1016/j.marpol.2017.01.006.

Peña-Herrejón, G. A. *et al.* (2016) “Thermal feasibility of tilapia production under greenhouse conditions in a semi-desert region of Mexico”, *2016 12th Congreso*

*Internacional de Ingenieria, CONIIN 2016*, pp. 1–5. doi: 10.1109/CONIIN.2016.7498116.

Prieto, C. a. y Olivera-Ángel, M. (2002) “Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja”, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(January), pp. 115–120.

Puga, A. (2012) *Caracterización del flujo de masa en tres diferentes biofiltros aplicados a un sistema acuapónico tilapia-lechuga.pdf*. Universidad Autónoma de Querétaro.

Rakocy, J. E. (1989) “Tank Culture of Tilapia”, (282).

Ramírez-Paredes, J. G., Garduño-Lugo, M. y Muñoz-Córdova, G. (2012) “Productive performance of a new synthetic red tilapia population ‘Pargo-UNAM’ compared with that of wild-type Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)”, *Aquaculture Research*, 43(6), pp. 870–878. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02902.x.

Remmerswaal, R. y Hadas Israel, R. (1998) “Recirculation System Design: The KISS Concept”, en *Conference of Recirculating Aquaculture Systems*, pp. 35–36.

Rojas Hernández, A. F. (2018) *Efecto de temperatura y tres densidades de población sobre rendimiento y calidad nutricional para producción intensiva de tilapia (O. niloticus)*. Universidad Autónoma de Querétaro.

Rueda-López, S. *et al.* (2013) “Sustainable tilapia production in a backyard system for rural areas using fish by-products in formulated diets”, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16, pp. 475–482.

Saavedra Martínez, M. A. (2006) *Manejo del cultivo de tilapia*. 1a ed. Managua, Nicaragua.

Safran, P. (1992) “Theoretical analysis of the weight-length relationship in fish juveniles”, *Marine Biology*, 112(4), pp. 545–551. doi: 10.1007/BF00346171.

SAGARPA (2017) “Crece De Manera Exponencial La Acuacultura En México Y Es Referente En América Latina”, *31 De Marzo*. Ciudad de México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en:

[http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC\\_00113\\_31.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_00113_31.aspx).

Servicio de Información Agroalimentaria Pesquera (2017) *Atlas Agroalimentario 2017, Servicio de Información Agroalimentaria Pesquera*.

Shnel, N. *et al.* (2002) “Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system”, *Aquacultural Engineering*, 26(3), pp. 191–203. doi: 10.1016/S0144-8609(02)00013-4.

Siddiqui, A. Q. y Al-Harbi, A. H. (1995) “Evaluation of three species of tilapia, red tilapia and a hybrid tilapia as culture species in Saudi Arabia”, *Aquaculture*, 138(1–4), pp. 145–157. doi: 10.1016/0044-8486(95)01088-2.

Uhlenhaut, N. H. *et al.* (2009) “Somatic Sex Reprogramming of Adult Ovaries to Testes by FOXL2 Ablation”, *Cell*, 139, pp. 1130–1142. doi: 10.1016/j.cell.2009.11.021.

Valenti, W. C. *et al.* (2018) “Indicators of sustainability to assess aquaculture systems”, *Ecological Indicators*. Elsevier, 88(December 2017), pp. 402–413. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.12.068.

Watanabe, W. O. *et al.* (2002) “Tilapia Production Systems in the Americas : Technological Advances, Trends, and Challenges”, *Reviews in Fisheries Science*, 10(3&4), pp. 465–498.

Windley, S. P. y Wilhem, D. (2016) “Signaling Pathways Involved in Mammalian Sex Determination and Gonad Development”, *Sexual Development*, 9, pp. 297–315. doi: 10.1159/000444065.

Wohlfarth, G. W. (1994) “The unexploited potential of tilapia hybrids in aquaculture”, *Aquaculture Research*, 25(8), pp. 781–788. doi: 10.1111/j.1365-2109.1994.tb00743.x.

Wurts, W. A. y Durborow, R. M. (1992) “Interactions of pH , Carbon Dioxide , Alkalinity and Hardness in Fish Ponds”, 0(464), pp. 1–4.

Yokoyama, H. (2003) “Environmental quality criteria for fish farms in Japan”,



*Aquaculture*, 226(1–4), pp. 45–56. doi: 10.1016/S0044-8486(03)00466-6.

#### PATENTES

Acosta Alba, J., Estrada García, M., Carpio-González Y. y Morales-Fernández R. 2009. Polipéptidos estimuladores del crecimiento para uso en peces y crustáceos. WO 2007/009403.

Acosta Alba, J. y Estrada García, M. 2017. Secuencias de aminoácidos para el control de patógenos. WO 2013/044890.

Dequan X., Tingting W. y Hong Y. 2005. Hybrid method of Afria crucia carp and mandarin fish. CN1582650.

Dong X., Yang Y., Yang Q., Tan B., Chi S., Sndong W., Huang X. y Wuang H. 2009. Growth promoter for hybrid tilapia fish larvae. CN101574125.

Ericsson, Venzon. 2016. Method for preserving freshwater fish. WO2016154693.

Gan X., Tang Z., Luo Y., Jun X., Zhu J., Zhou Y., Huang Y. y Zhang S. 2012. Method for producing seeds of new Nero-Aurea tilapia. CN102696520.

Hernández-González, C. y González-Santos A.J.H. 2017. Mezcla para el alimento balanceado para la pre-engorda/engorda de tilapia y su proceso de elaboración. MX/a/2015/016590.

Hongxia L., Juhua Y., Yongkai T., Jianlin L., Fan Y. y Jie H. 2016. Primer for Nile tilapia germ plasm purity identification and PCR identification method. CN105385759.

Jianlin L., Juhua K., Yongkai T., Hongxia L. y Pao X. 2013. Method for identifying *Oreochromis aureus*, Nile tilapia and hybrid fish thereof. CN102864241.

Kehua Y. 2015. Cage for trapping hybrid tilapia. CN105076025.

Kriwi G.G., Jaworski E.G., Devlin R.H. y Donaldson E.M. 1992. Producción mejorada de pescado. 9201199.

Lan W., Wei C., Wenjin W., Xin L., Anzi D., Jun W., Guangquan X., Xin M., Yu Q. y Li L. 2016. Stuffed potato meat ball and processing technology thereof. CN105266046.

Li S., Jia J., Cai W. y Zhang Y. 2010. Salt tolerant breeding technology for tilapia. CN101658146.

Mejía-Ávila M. de C. 2014. Proceso de producción de bacterias ácido lácticas para

el mejoramiento productivo de especies de peces y crustáceos. MX/a/2012/012446.

Ning S., Yang B., Guimei L., Qin Y., Liangyuan C., Dajin B., Danmei M., Lina H., Yong O., Tian L. y Zhongy S. 2013. Drunken tilapia snack food and processing method thereof. CN103404913.

Pinhong Y., Qing H., Hu X. y Haihong H. 2017. Breeding method for new mandarin fish and tilapia mossambica hybrid strain. CN107155970.

Rongrong W., Rongfei X. y Hongxiang X. 2017. Preparation method of vehicle engine cooling fluid. CN106543980.

Shoemaker C. y Lafrentz B.R. 2012. Vaccination of sex reversed hybrid tilapia (*Oreochormis niloticus* x *O. aureus*) with an inactivated *Vibrio vulnificus* vaccine. WO2012129375

Soto-Zarazúa M.G., Herrera-Ruíz G., Peniche-Vera R. del R., Toledano-Ayala M. y Rico-García E. 2012. Controlador basado en lógica difusa para alimentadores automáticos de tilapia. MX/a/2010/008127.

University of New Hampshire. 2013. Método para identificar peces de rápido crecimiento en salinidades diferentes. WO 2003/018845.

Velarde- Rodríguez M.G., Pichardo-Velarde J.G. y Beltrán-Acosta A.C. 2016. Patente para la extracción de colágeno a partir de piel de tilapia. MX/a/2014/014190.

Weiye J., Yong W. y Jinliang Z. 2015. Multi-parental hybrid breeding method of tilapia. CN104542397.

Yang Y., Zhang H. y Chen Y. 2009. Method for producing fish seeds of genetic male red tilapia hybrids. CN101411313.

Yongjie J., Haitao Z., Hai'ou L., Zhuodo W., Tuo W., Zhenna W., Limei Z., Xujuan Z. y Guagwen S. 2017. Growth promoter for adult hybrid tilapia as well as preparation method and use method of growth promoter. CN106616067.

Zeyun L. 2013. Hybrid tilapia feed and preparation method therefor. CN103330067.

Zhang T., Li S., Zhang Y., Jia J. y Zhao H. 2012. Breed conservation, screening and breed production method in tilapia complete set lines as well as between two lines of complete sets. CN102630617.

Dirección General de Bibliotecas UAQ