

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA
CRIANZA DE TILAPIAS (*Oreochromis niloticus*) A TRÁVES DEL
SISTEMA ACUAPÓNICO DE RECIRCULACIÓN UTILIZANDO CULTIVOS
DE LECHUGA (*Lactuca sativa* var. *Intybacea*), ALBAHACA (*Ocimum
basilicum*) Y ACELGA (*Beta vulgaris* var. *cicla*)”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CASTAÑEDA VILLANUEVA, DIANA LETICIA

**Villa El Salvador
2019**

DEDICATORIA

Dedicado a las personas más importantes en mi vida:

A Dios padre que siempre me ha guiado por el buen camino; a mi hermosa madre Sabina por el admirable esfuerzo que hace día a día para sacarnos a adelante a mis hermanos y a mí, a mi padre Rafael por sus consejos y apoyo incondicional, a Eduardo por ser un buen hermano y a mi hermanita Cris por soportar mis ausencias.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por confiar en mí y por enseñarme que en momentos difíciles siempre hay que ponerle el doble de sacrificio para demostrar cuanto puedes lograr. A mi hermanita que aun siendo pequeña estuvo presta a apoyarme vigilando a los peces con el entusiasmo que la caracteriza y me contagia.

Agradecer a mis grandes amigos Cristel y Jhorman por los ánimos y el apoyo brindado durante días difíciles, gracias por sus consejos y las muestras de afecto hacia mi persona.

Agradecer a mi asesor Marcelino por su paciencia y asesorías brindadas en la realización de esta investigación.

Agradecer a mi amiga Shirley y a mi amigo Daniel por el apoyo brindado, a pesar de estar con la misma responsabilidad.

Un agradecimiento especial al sr. Floro y a la Sra. Marina por estar siempre disponibles a llevarme y acompañarme a conseguir mis herramientas y materiales, gracias por las atenciones brindadas y por tratarme como una hija, muy agradecida con ustedes.

Y agradezco a él, a un hombre muy especial en mis días, por la comprensión, la paciencia y el apoyo incondicional brindado.

Índice

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2. Justificación del problema	2
1.3. Delimitación del proyecto	3
1.3.1. Teórica	3
1.3.2. Temporal	3
1.3.3. Espacial.....	3
1.4. Formulación del problema	4
1.4.1. Problema general	4
1.4.2. Problemas específicos	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	8
2.2. Bases Teóricas.....	10
2.2.1. Ley de recursos hídricos N°29338	10
2.2.2. La acuicultura en el Perú.....	11
2.2.3. Tilapia.....	11
2.2.4. La tilapia en el Perú.....	13
2.2.5. Zonas de producción.....	13
2.2.6. Alimentación de las Tilapias.....	15
2.2.7. Funcionamiento de un sistema de recirculación Acuícola (SRA)	16
2.2.8. Ventajas de un SRA	16
2.2.9. Desventajas de un SRA	17
2.2.10. Cultivos hidropónicos	17
2.2.11. Acuaponía	18
2.2.12. Acuaponía en la actualidad	19
2.2.13. Sistema acuapónico	19

2.2.14. Ventajas y desventajas del Sistema de recirculación	
Acuapónico	20
2.2.15. Cultivos Acuapónicos	21
2.2.16. La lechuga.....	22
2.2.17. La albahaca.....	24
2.2.18. Acelga	25
2.2.19. Control de pestes y plagas en los cultivos acuapónicos	26
2.2.20. Proceso de Nitrificación.....	26
2.2.21. Calidad de agua en un SRA.....	28
2.2.22. Compuestos nitrogenados.....	29
2.2.23. Oxígeno disuelto	32
2.2.24. Temperatura.....	35
2.2.25. pH.....	36
2.3. Definición de Términos Básicos	38
Amonio.....	38
Arlita.....	38
Aguas Lóticas	38
Bacterias Nitrobacter	38
Bacterias nitrosomas	38
Balsas flotantes.....	39
Biomasa	39
Cultivo Acuapónicos	39
Desnitrificación.....	39
Factor de Conversión alimenticia.....	39
Filtro biológico o biofiltro	39
Filtrado mecánico del agua.....	40
Hidroponía	40
Nitritos.....	40
NFT	40
Nitrificación	40
Psicultura	41
Sustrato.....	41

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA	
PROFESIONAL	42
3.1. Modelo de solución propuesto	42
3.2. Resultados	59
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFIA.....	85
ANEXOS	88

Índice de figuras

Figura 1. Departamentos de la Amazonía peruana donde se cultivan tilapias	14
Figura 2. Ciclo del nitrógeno en un sistema acuapónico	27
Figura 3. Relación del % de NH ₃ sobre el Nitrógeno amoniacal total con el pH del agua a diferentes temperaturas.....	29
Figura 4. Oxígeno Disuelto en sistemas acuapónicos.....	35
Figura 5. Ciclo del nitrógeno en acuaponía.....	37
Figura 6. Herramientas, materiales y equipos para la instalación del sistema Acuapónico.....	43
Figura 7. Sistema de drenaje de la cama de cultivo de hortalizas.....	44
Figura 8. Pegamento azul para conexión de todas las tuberías.....	45
Figura 9. Perforación de la base de la cama de cultivo para el drenaje de agua .	46
Figura 10. Instalación del niple corrido de 3/4' de diámetro asegurando con teflón.	46
Figura 11. Tubo PVC de 4' de diámetro x 25 cm de altura con aberturas para evitar el paso de sólidos.....	47
Figura 12. Vista superior del drenaje de agua en la cama de cultivo	47
Figura 13. Decantador.....	48
Figura 14. Conexión del decantador a la cama de cultivo	49
Figura 15. Arlita (arcilla expandida).....	49
Figura 16. Adaptación de tilapias al estanque de cultivo.....	50
Figura 17. Izquierda: Plántulas de lechugas Derecha: plántulas de albahaca y acelgas.....	51
Figura 18. Medición de talla de las tilapias.....	52
Figura 19. Pesada de las tilapias en conjunto	52
Figura 20. Tilapias en el sistema acuapónico de recirculación.....	55
Figura 21. Medición de tamaño de las plantas	55
Figura 22. Monitoreo del pH en el tanque de peces.....	56
Figura 23. Termómetros usados en los tanques de cultivos	57
Figura 24. Toma y conservación de muestras de agua.....	58

Índice de tablas

Tabla 1. Producción de tilapia (t) en países productores de tilapia	13
Tabla 2. Tamaño de alimento (en milímetros)	15
Tabla 3. Tolerancia de parámetros en sistema de acuaponía.....	20
Tabla 4. Parámetros generales de vegetales cultivados en acuaponía.	22
Tabla 5. Estudios en Sistemas acuapónicos.....	28
Tabla 6. Rangos de oxígeno disuelto en acuaponía	32
Tabla 7. Factores y consecuencias de niveles bajos de oxígeno disuelto en la cama de cultivo	34
Tabla 8. Parámetros del Sistema Acuapónico.....	36
Tabla 9. Materiales, herramientas y equipos utilizados en el sistema acuapónico de recirculación	42
Tabla 10. Tasa de alimentación para tilapia.....	54
Tabla 11. Parámetros evaluados en laboratorio del primer punto (salida del decantador)	57
Tabla 12. Parámetros evaluados en laboratorio del segundo punto (salida de la cama de cultivo de hortalizas)	58
Tabla 13. Valores de la ratio para el sistema acuapónico de recirculación	60
Tabla 14. Variables productivas del crecimiento de la tilapia	61
Tabla 15. Evolución del crecimiento promedio (cm) de las tilapias	61
Tabla 16. Valores de Temperatura y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación	64
Tabla 17. Valores de Temperatura y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación	66
Tabla 18. Valores de Temperatura y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación	67
Tabla 19. Valores de Temperatura y tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación	69
Tabla 20. Valores de pH y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación	72
Tabla 21. Valores de pH y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación	73

Tabla 22. Valores de pH y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación	75
Tabla 23. Valores de pH y tamaño promedio de tilapias en el sistema acuapónico de recirculación	76
Tabla 24. Resultados de los parámetros del primer punto evaluados en laboratorio.	78
Tabla 25. Resultados de los parámetros del segundo punto evaluados en laboratorio.	78
Tabla 26. Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la primera semana de muestreo.....	93
Tabla 27. Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la segunda semana de muestreo	94
Tabla 28. Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la tercera semana de muestreo.....	95
Tabla 29. Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la cuarta semana de muestreo.....	96
Tabla 30. Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la quinta semana de muestreo	97

Índice de gráficas

Grafica 1. Evolución del tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación	62
Grafica 2. Evolución del tamaño de las hortalizas en el sistema acuapónico de recirculación	62
Grafica 3. Evolución de la temperatura C° en el sistema acuapónico de recirculación	63
Grafica 4. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación.....	65
Grafica 5. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación.....	67
Grafica 6. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación.....	68
Grafica 7. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación.....	70
Grafica 8. Evolución del pH en el sistema acuapónico de recirculación.....	71
Grafica 9. Dispersión de la pH y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación	73
Grafica 10. Dispersión de la pH y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación	74
Grafica 11. Dispersión de la pH y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación	76
Grafica 12. Dispersión del pH y tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación	77
Grafica 13. Concentración de Oxígeno disuelto (mg/L) en el Sistema Acuapónico de recirculación	79
Grafica 14. Concentración de amoniaco (mg/L) en el sistema acuapónico de recirculación	80
Grafica 15. Concentración de nitrato (mg/L) en el sistema acuapónico de recirculación	82

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso esencial y fuente de vida para muchos organismos vivos, puede contaminarse de forma natural mediante descomposición orgánica o de forma antropogénica por el producto de las actividades extractivas, agrícolas y/o minerales, y esta contaminación provoca la alteración de la calidad de agua y por consiguiente la pérdida de fuentes de este recurso, además de los problemas de salud que puede ocasionar en la población, lo que conlleva a costos altos para el tratamiento, limpieza y remediación.

La industria acuícola afronta el aumento de materia orgánica producida por las excretas de los peces, al acumularse alimento que no fue consumido y por aspectos asociados al cultivo. Los efluentes de van hacia una fuente natural, generando la alteración de diferentes parámetros de la calidad de agua, tales como la concentración de Sólidos en suspensión (SST), la concentración de Oxígeno Disuelto (OD); de la Demanda de Química y Biológica de Oxígeno (DQO y DBO), concentración de Nitritos y Nitratos, presencia excesiva de algas que generan la eutrofización y por consiguiente la pérdida de este recurso.

Nuestro país cuenta con favorables condiciones para el desarrollo de la industria Acuícola nacional, sin embargo la acuicultura en nuestro territorio tiene niveles de desarrollo bajos en comparación a otros países, pero tiene el mismo impacto ambiental hacia nuestros cuerpos de agua. Como una alternativa para contribuir con la minimización de la contaminación y el uso sostenible del recurso, nace la idea de implementar un sistema que además de tratar las aguas residuales de esta actividad, aprovechen los nutrientes para la generación de nuevos productos que beneficien a la población.

Los sistemas de recirculación acuícola es una alternativa sostenible de cultivo de peces con reutilización de agua con un tratamiento previo ya sea de forma física, química y/o biológica, estos sistemas se caracterizan por requerir menos agua. Estos sistemas están restringidos a escala comercial debido a la considerable inversión y capital operacional que se requiere para su instalación y seguimiento.

A estos sistemas de recirculación se le adiciona un sistema hidropónico, sistema que produce vegetales sin necesidad de suelo y por circulación de agua con soluciones nutritivas que entra en contacto directo con las raíces y genera un nuevo sistema llamado Sistema Acuapónico. Las hortalizas más utilizadas en Acuaponía son las lechugas, estas plantas tienen un ciclo de producción relativamente corto, utilizan el nitrato en concentraciones considerables, de ahí la importancia en la producción de follaje y su cultivo en este sistema, por otro lado, están las acelgas, estas plantas son cultivadas debido a la demanda de un medio de humedad, para favorecer el crecimiento de su masa foliar.

Entre las hierbas aromáticas cultivadas en estos sistemas están las albahacas, son plantas aromáticas de crecimiento rápido, al igual que la lechuga, en cultivos acuapónicos es una especie resistente, ya que tiene un amplio rango de tolerancia ambiental, se emplea como ingrediente en la preparación de alimentos, en medicina tradicional y aromaterapia.

Para reutilizar los efluentes de la crianza de peces se logra mediante la eliminación de la materia orgánica y el ingreso del agua tratada al sistema hidropónico, transformando el amonio presente en los tanques de peces, que son tóxicos en concentraciones altas, en nitritos y nitratos por medio de la acción de bacterias nitrificantes, para el desarrollo de los cultivos hidropónicos.

Los sistemas acuapónicos de recirculación integran la acuicultura y la agricultura hidropónica reutilizando los efluentes, lidiando con el problema de la escasez del agua, la intensificación de los cultivos y optimizando el uso del agua. La acuaponía es considerada como un menor impacto para el medio ambiente que la producción agrícola convencional y por tanto puede generar ventajas a gran escala de índole medioambiental, cultural, económica y social.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Hoy en día se habla mucho acerca de la contaminación del agua y de las medidas de conservación que se deben optar, pero no se da la importancia debida al impacto ambiental que generan las actividades de acuicultura. Según el Programa Nacional de Desarrollo Acuícola elaborado y publicado por el Ministerio de la Producción, el sector acuícola en el Perú debe aplicar medidas de producción sostenibles, tales como el uso de Buenas Prácticas Acuícolas y el fortalecimiento de las instituciones, a fin de promover actividades acuícolas que generen crecimiento económico de la mano con la distribución de los beneficios de manera equitativa para la población, sin causar negativos impactos al medio ambiente ni dañar la calidad de vida de las sociedades locales (PRODUCE, 2010).

En últimos años, y como toda actividad económica, la acuicultura en nuestro territorio va tenido un notable desarrollo y con ello la problemática de la demanda del recurso hídrico y aún más la disposición de las aguas residuales procedentes de esta actividad. Este incremento es generado por la necesidad de suministrar alimentos a la creciente población. El sector alimenticio que conocemos en nuestro país y, sobre todo, las técnicas de producción que se esconden tras el mismo, experimentan una radical evolución en este siglo XXI causada por la superpoblación demográfica y la lucha contra el cambio climático, lo que condicionara la alimentación de las generaciones futuras.

Por lo antes mencionado se ha llegado a la necesidad de implementar un sistema sostenible que agrupe las actividades tanto acuícola como agrícola, que asegure un uso eficiente del agua, energía, de los nutrientes y respetar los principios de la reutilización y la recirculación.

La recirculación del sistema acuapónico se conforma por la crianza de peces con el cultivo hidropónico de vegetales, generando cultivos óptimos para su consumo y que no solo son beneficiosas por el alimento que se logra, sino que además no generan ningún impacto negativo al medio ambiente. Estos cultivos a su vez provocan un cambio positivo en la calidad del agua, consumiendo todos los nutrientes procedentes de las excretas de los peces para su crecimiento y producción, lo que conlleva a obtener aguas con mejor calidad y con un grado de aceptación para su reutilización en el sistema. De esta manera se logra disminuir la contaminación y la utilización de grandes cantidades de agua que demanda la naturaleza de estas actividades.

1.2. Justificación del problema

El estudio abarco la implementación de un sistema piloto que en primera instancia obtuvo una producción de hortalizas y en segunda; producción de peces, ofreciendo una producción de alimentos sustentables. Este sistema responde a la necesidad de promover alternativas que contribuyan al desarrollo social, económico y ambiental de las comunidades del país. En este sistema, la mayoría de los nutrientes necesarios para la producción los cultivos de hortalizas se reciben directamente del agua de la crianza de peces. Los peces, las bacterias y el cultivo de hortalizas empleados son los tres factores fundamentales para el desarrollo del presente sistema acuapónico.

Además de la producción, la investigación se basó en analizar la capacidad que tienen los cultivos de hortalizas empleados en mejorar la calidad de las aguas residuales de la crianza de peces para la recirculación del sistema, obteniendo una optimización en el uso de este recurso.

El estudio tiene importancia y aplicación actual por ser fuente de abastecimiento de productos de buena calidad para la alimentación de la población.

La metodología empleada en este trabajo fue la metodología científica, ya que se aplicó diversas herramientas para la recolección y análisis de resultados.

1.3. Delimitación del proyecto

1.3.1. Teórica

El presente trabajo de investigación abarco el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la crianza de peces, para dicho tratamiento se implementó un Sistema piloto Acuapónico de Recirculación de agua residual procedente de la crianza de tilapia (*Oreochromis Niloticus*), tratadas con un sistema hidropónico de lechuga, acelgas y albahacas, para su posterior reutilización, generando el consumo sostenible de este recurso.

1.3.2. Temporal

La presente investigación abarco los meses de enero, febrero hasta mediados de marzo del 2019, teniendo en cuenta la identificación del lugar, la instalación del sistema piloto acuapónico de recirculación, la disponibilidad de los materiales, equipos, tiempo de obtención de resultados y evaluación del sistema.

1.3.3. Espacial

El Sistema piloto Acuapónico de Recirculación de aguas residuales procedentes de la crianza de tilapias ha sido desarrollado en el Distrito de San Juan de Miraflores, exactamente en A.H Señor de Milagros Mz. D Lote 12, Provincia de Lima Metropolitana, Departamento de Lima. La ubicación

se detalla en el *Anexo N°1. Ubicación del Sistema piloto Acuapónico de Recirculación.*

Para la selección del lugar se tuvo en consideración el clima, espacio y el alcance directo del sistema piloto para el monitoreo permanente. Siendo el área abarcada para la instalación del sistema aproximadamente 3 metros cuadrados.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

- ¿De qué manera el uso de cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) en el sistema acuapónico de recirculación influye en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*)?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera los parámetros de pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, nitritos, nitratos y amoníaco del agua tratada con cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) en el sistema acuapónico de recirculación permiten su reutilización en la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*)?
- ¿De qué manera el uso de las aguas residuales provenientes de la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*) en el sistema acuapónico de recirculación influye en el crecimiento de los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*)?
- ¿De qué manera la recirculación del agua tratada con cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y

acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) influye en el crecimiento de tilapias (*Oreochromis niloticus*) en el sistema acuapónico?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar la influencia de cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) en el sistema acuapónico de recirculación para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*).

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, nitritos, nitratos y amoniacó del agua tratada con cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) en el sistema acuapónico de recirculación para su reutilización en la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*).
- Evaluar el crecimiento de cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) en el sistema acuapónico de recirculación de aguas residuales provenientes de la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*).
- Evaluar el crecimiento de las Tilapias (*Oreochromis niloticus*) en el sistema acuapónico de recirculación de aguas residuales tratadas con cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Para la realización de este trabajo se encontraron las siguientes investigaciones relevantes. Dentro de los cuales destacan los siguientes:

2.1.1. Antecedentes internacionales

Hernández Z, L. (2017) en su investigación denominado “Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis Mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca Sativa*)” evalúa la comparación de dos sistemas acuapónicos mediante la construcción de dos sistemas pilotos de un sistema tradicional y otro con recirculación doble de agua, con las mismas dimensiones en tanques y condiciones. Estos pilotos estuvieron conectados a sensores que median en todo momento la concentración de pH y oxígeno disuelto, así como la temperatura, conductividad eléctrica, entre otros aspectos para hacer el monitoreo de los parámetros del agua y del biofiltro llegando a las siguientes conclusiones: las lechugas en el piloto tradicional no se obtuvieron óptimos resultados debido a la insuficiencia de nutrientes necesarios para el crecimiento de las lechugas, caso contrario ocurrió en el sistema piloto de doble recirculación se pudo obtener buenos rendimientos ya que todos los nutrientes

requeridos por las plantas se suministraron para garantizar su crecimiento.

Rubio C, S. (2012) en su investigación “Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca Sativa* en acuaponía” determino la producción de *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca Sativa* en sistemas acuapónicos, para lo cual utilizó dos sistemas de recirculación de agua, la primera; sin recambio (utilizando biofiltración) y la segunda; sistema sin recirculación con parciales recambios de agua. Durante la investigación se presentaron niveles bajos de OD (< 2 mg/L), debido al aumento de la biomasa y alta densidad, en cuanto a la temperatura se evidencio máximas de 32°C y mínimas de 15°C, pero en general se mantuvo dentro del parámetro optimo y en afecto el crecimiento de los organismos. Las concentraciones de amonio NH₄ (mg/L) durante el experimento fueron mayores en el tratamiento con recirculación sin recambio que en el de sin recirculación con recambio. En cuanto a las concentraciones de nitritos y nitratos (mg/L) fueron menores (0.69 mg/L y 1.14 mg/L) en el tratamiento con recirculación sin recambio que en el de sin recirculación con recambio (1.75 mg/L y 2.19 mg/L). La presente investigación concluyo en que el uso de un sistema de recirculación sin recambio es factible, ya que el sistema reduce el 5.40% del fósforo (PO₄), 21.25% de nitritos (NO₂) y 32.37% de nitratos (NO₃).

Iturbe D, K. (2008) en su investigación de tesis titulado “Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación” en Guatemala, interpretó sobre la composición fisicoquímica de los efluentes de agua de dos sistemas de crianza de tilapias. Los sistemas de crianza evaluados fueron dos; un

sistema semi abierto y sistema abierto, el primer sistema trabajo con un caudal limitado de agua equivalente a 1.3 litros/segundo; mientras que el segundo sistema tuvo un caudal de entrada de 19 l/seg. En cuanto a los resultados fisicoquímicos se obtuvo una temperatura promedio del agua de entrada de 29 °C para sistema semi-abierto y 23 °C para el sistema abierto, Oxígeno disuelto 3.5 (mg/L) para el sistema semi abierto y 7.0 (mg/L) para el sistema abierto, empleándose para la finca 1 una carga (Biomasa) de 15 kg/m³ y para la finca 2 una carga (Biomasa) de 35 kg/m³. La presente investigación concluyo en que el sistema abierto es menos contaminante que el sistema semi abierto, por tener un tiempo de retención menor de contaminantes.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Vargas A, A. (2017) en su investigación titulada “Uso de un Sistema de Recirculación Acuapónico para Conservar la Calidad del Agua en los Estanques de Producción de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la empresa Lima Vías Express, Chorrillos-Lima” determino si los sistemas de recirculación simple en la empresa Lima Vías Express, en el distrito de Chorrillos, conservo la calidad agua para la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en comparación con sistema de recirculación acuapónico. Se realizó un estudio experimental basándose en obtener los parámetros fisicoquímicos de tres estanques de producción de tilapias. Se obtuvieron concentraciones de amonio de 0.04 ppm, 0.06 ppm, 0.07 ppm, en el SRA1, SRA2, SRA3 respectivamente y 5.94 ppm en el SRS, concentraciones de Nitrato fueron de 17.98 ppm, 3.04 ppm, 5.08 ppm para el SRA1, SRA2, SRA3 respectivamente y 144.60 ppm en el SRS. El pH en el SRA1 obtuvo un valor de 7.14, SRA2 un valor de 7.12, SRA3 un valor de 7.09 y por último SRS; 6.20. Concluyendo que los parámetros no estaban dentro de los

rangos estipulados por la revisión bibliográfica del autor, dando recomendaciones para la empresa evaluada.

Pilco V, J. (2015) en su trabajo de investigación titulado “Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachypomus* “paco” en un sistema acuapónico superintensivo” realizado en el Instituto de Educación Superior Pedagógico Público Bilingüe (IESPPB), carretera a San José, km 0.5 en la ciudad de Yarinacocha. Tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos densidades de siembra, en el comportamiento productivo de *Piaractus brachypomus* “Paco”, en un sistema acuapónico superintensivo. Se obtuvo una temperatura promedio de $26.44 \pm 1.33^{\circ}\text{C}$, oxígeno disuelto de $4.86 \pm 1.09\text{mg/L}$ y un pH de 6.97 ± 0.40 durante el periodo de cultivo de 120 días. Para la variable de amonio no ionizado, se pudo observar una concentración promedio de $0.08 \pm 0.03\text{ mg/L}$, por su parte para la variable nitritos se obtuvo una concentración promedio de $0.30 \pm 0.20\text{ mg/L}$ y como producto final la variable nitrato se encontró en promedio de $42.78 \pm 19.20\text{ mg/L}$. Los parámetros que estaban ligeramente fuera de lo permitido por la especie, fue el oxígeno disuelto y la temperatura, quienes afectaron el alcance de mejores tasas de crecimiento específico y conversión de alimento. En la investigación se concluye que el comportamiento productivo de *Piaractus brachypomus* “Paco”, en un sistema acuapónico superintensivo, demostró diferencia significativa entre tratamiento. El tratamiento más productivo fue el T1 (densidad de 50 peces/ m^3), porque presentó mejor conversión en relación al T2 (densidad de 75 peces/ m^3).

Moreno S, E. y Zafra T, A. (2014) en su proyecto de investigación “Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia” implemento dos sistemas

acuapónicos para producir 50 unidades de lechugas, con la técnica NFT (solución nutritiva recirculante) con dos tratamientos (T1 y T2), con una densidad de 50 individuos de tilapia roja (T1), *Oreochromis sp.* Y otra con una densidad de 25 individuos de tilapia roja (T2). En la investigación se observó un crecimiento de la lechuga entre los 30 a los 90 días para el crecimiento producida con la densidad T1. Mientras que en T2 el crecimiento se mantuvo constante en el periodo de 45 a 90 días. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos en el T1 fueron: de temperatura ambiente entre 20 a 24°C y temperatura del agua valores de 18,4 a 20°C, para el T2 los valores de temperatura ambiente oscilaron entre 25,5 a 27°C y temperatura del agua valores de 19,5 a 22,2°C. Los valores de pH presentaron oscilaciones, pero en ambos tratamientos estuvieron entre 7,5 y 8,0 influyendo en la disponibilidad de nutrientes.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Ley de recursos hídricos N°29338

La Ley que regula el uso y gestión de los recursos hídricos en el Perú es la Ley de recursos Hídricos N°29338. Esta ley comprende el agua subterránea, continental, superficial y los bienes asociados a esta.

En el Título III, artículo 35° de la ley antes mencionada, reconoce las siguientes clases de usos de agua y el orden de prioridad según numeración:

1. Uso primario
2. Uso poblacional
3. Uso productivo

2.2.2. La acuicultura en el Perú

La acuicultura se refiere al cultivo de organismos acuáticos, animales y vegetales, que cumplen su ciclo de vida total o parcialmente en el agua a través de diferentes sistemas y técnicas. Dichos cultivos son generalmente destinados al consumo humano, conservación, esparcimiento y repoblamiento de ambientes naturales. Una alternativa que los productores han incorporado a sus sistemas productivos, es el cultivo de peces, con el objeto de diversificar su producción (Bautista Covarrubias & Ruiz Velazco Arce, 2011).

La acuicultura en nuestro país tiene escaso nivel de desarrollo, comparado con otros países de la región, a pesar de contar con alto potencial hídrico con más de 12,000 lagos y lagunas alto andinas de distinto tamaño (vertiente del Pacífico 3896 lagunas; cuenca del Amazonas: 7441 lagunas; y, Hoya del Titicaca 864 lagunas). El 83.06% del área otorgada (19,189.11) corresponde a la actividad acuícola marina y 16.94% (3,914.54) a la actividad acuícola continental (Baltazar, 2007).

2.2.3. Tilapia

Especie acuática proveniente del continente Africano que ha sido desarrollado en diferentes países alrededor del mundo. En la actualidad este pez se viene cultivando exitosamente debido a su fácil adaptación a cautividad, se reproduce con facilidad, resistencia a las enfermedades, a su tolerancia a altas densidades de crianza, entre otras características la convierten en la especie ideal para la acuicultura (Baltazar, 2007).

Esta especie es cultivada en estanques, jaulas y arrozales con buenos parámetros físicoquímicas que garanticen el óptimo desarrollo de los peces (Bautista Covarrubias & Ruiz Velazco Arce, 2011).

Características de *la tilapia*

Oreochromis es la especie de tilapia más importante debido a sus altas tasas de crecimiento, fácil manejo y adaptabilidad para su reproducción,. La especie *Oreochromis niloticus* es la más conocida en Perú, las características principales para la elección de la tilapia para su cultivo han sido:

- a) Posee una curva de rápido crecimiento.
- b) Facilidad de administrar alimentos balanceados.
- c) Posee una tolerancia a densidades altas de cultivo.
- d) Resiste concentraciones bajas de oxígeno, niveles altos de amonio, valores bajos de pH, temperaturas extremas etc.
- e) La tilapia es de fácil manejo.

Habitad y requerimientos medioambientales de la tilapia

La tilapia es una especie que habita en aguas de zonas tropicales, pueden desarrollarse en aguas lenticas y lóaticas. Para su óptimo desarrollo se requieren aspectos medioambientales, la temperatura varía entre 26 y 32 °C, mientras que a temperaturas menores de 12°C, existe peligro de muerte (FAO, 2011).

Según Saavedra Martínez (2016) los rangos óptimos de temperatura de la tilapia oscilan entre 20-30 °C.

Soporta bajas concentraciones de 1 mg/l de OD. La demanda de alimento se reduce cuando están expuestos a concentraciones bajas de oxígeno, lo que altera el crecimiento de los peces. Los

valores óptimos son valores mayores de 2 ó 3 mg/l, sin presencia de luz (Saavedra Martínez, 2016)

Mientras que la FAO (2009) considera que la concentración mínima de oxígeno es de 0.5 mg/L.

2.2.4. La tilapia en el Perú

La acuicultura de la tilapia en nuestro país es aún incipiente, para el grado de avance que muestran otros países latinoamericanos, como Brasil, Colombia y Ecuador, ente otros, se detalla la producción de tilapias de estos países en la Tabla 1.

Tabla 1. Producción de tilapia (t) en países productores de tilapia

País	Año		
	2012	2013	2014
Brasil	182.297	169.306	198.664
Colombia	52.688	57.000	58.500
México	23.749	29.269	54.536
Honduras	20.500	22.600	29.750
Ecuador	39.820	23.922	23.902
Costa Rica	23.355	26.401	16.736
Guatemala	5.455	5.947	9.546
Perú	3.174	3.840	4.610

Datos obtenidos de (FAO, 2016)

2.2.5. Zonas de producción

La tilapia se ha adaptado fácilmente a las condiciones tropicales en el país, principalmente en departamento de Piura y si nos centramos en los departamentos de la Amazonía, en el Departamento de San Martín. La tilapia se distribuye en la costa desde los departamentos de Tumbes hasta Tacna, así como en varias regiones amazónicas donde predomina la acuicultura con

recursos limitados de micro y pequeñas empresas detalladas en la Figura 1. La mayor producción se concentra en Piura (67%), San Martín (27%) y Lima (6%), y la más baja en Cajamarca, Amazonas, La Libertad y Madre de Dios (1%). Según el área donde se cosechan, la producción en la zona costera (73%) es mayor que el bosque alto (27%).

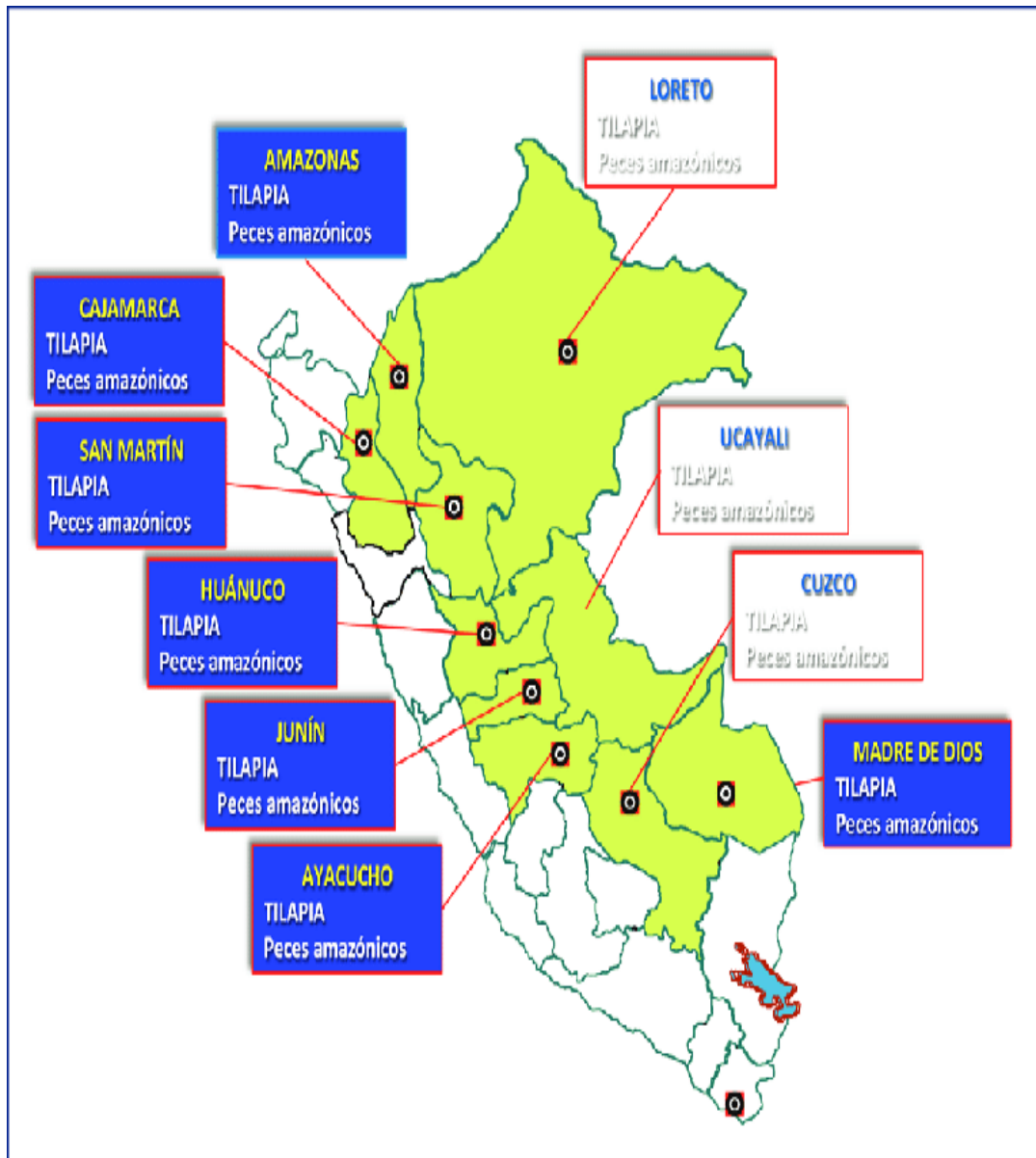


Figura 1. Departamentos de la Amazonía peruana donde se cultivan tilapias

Fuente: (Mendoza Ramírez , Castañeda Franco, & Baltazar Guerrero, 2018)

La especie *Oreochromis niloticus* se viene desarrollando en toda la costa y en el departamento de San Martín, la especie de

Oreochromis sp variedad Chitralada; en Piura y San Martín, la tilapia roja; en Lima, La Libertad, Lambayeque, Ica y San Martín y *Oreochromis aureus* en Piura.

2.2.6. Alimentación de las Tilapias

El género *Oreochromis* se alimenta de una gran variedad de alimentos tales como pedazos de frutas, especies de invertebrados acuáticos, bacterias, además de semillas y materia orgánica en descomposición (Saavedra Martínez, 2016).

Es necesario utilizar un alimento de alto contenido proteico (45%), energético y que sea tamizado para asegurar un consumo uniforme y fácil por parte del alevín. En general, el tamaño de la partícula que se debe suministrar durante el período de reversión debe estar entre los 0.5 y 0.8 milímetros (Nicovita, 2002).

Para obtener el máximo crecimiento de la tilapia, la alimentación debe tener en cuenta el nivel de proteína con el estadio del pez, como lo detalla el Tabla 2.

Tabla 2. Tamaño de alimento (en milímetros)

Estadio de Pez (gramos)	Tamaño del pellet recomendado (mm).
Alevines	Polvo
De 0.50 gr. A 5.0 gr.	Quebrantado 0.50 a 1.0 mm.
De 5.0 gr. A 15.0 gr.	1X1
De 15.0 gr. A 30.0 gr.	1 ½ x 1 ½
De 30.0 gr. A 80.0 gr.	2x2
De 80.0 gr. A 200.0 gr.	3x3
De 200.0 gr. A 500.0 gr.	4x4
De 500.0 gr. ó más.	5x5

Datos obtenidos de Fuente: (Nicovita, 2002)

La alimentación es influenciada por:

- a) La energía que se obtiene por la dieta.
- b) La edad, peso y madurez del pez.
- c) Factores medioambientales del entorno.
- d) La calidad de la proteína suministrada.
- e) Tasa de alimentación.

2.2.7. Funcionamiento de un sistema de recirculación Acuícola (SRA)

Un SRA permite obtener cultivos de peces en mayor intensidad el sistema y el entorno medioambiental es controlado, de la cantidad de agua que circula en el sistema, solo el 5-10% es reemplazado. Estos sistemas son muy susceptibles a cambios en las condiciones del entorno, ya que depende del buen desarrollo de los peces, cultivos y bacterias que se encuentran interrelacionados. Los residuos sólidos tienen que ser removidos mediante un sedimentador o decantador instalado en el sistema. Y por último el efluente de la crianza de peces es tratado biológicamente por medio del proceso de nitrificación, el paso del nitrógeno amoniacal a nitrato (Caló, 2011).

2.2.8. Ventajas de un SRA

Los SRA o sistemas cerrados de acuaponía tienen como ventaja principal, el uso racional del agua, permiten el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos (Jiménez Sáenz, s.f).

Otras ventajas que conllevan los SRA son:

- a) Reducción en la propagación y aparición de Enfermedades.
- b) Hay un uso óptimo de recursos necesarios en el sistema.
- c) Eficiente en la producción de los cultivos de especies acuáticas.

2.2.9. Desventajas de un SRA

Las desventajas de un SRA son:

- a) La inversión para la implementación inicial es de alto costo.
- b) Personal calificada tanto para la implementación como para el seguimiento.

2.2.10. Cultivos hidropónicos

Técnica de la película nutritiva NFT (Nutrient Flow Technic)

Esta técnica hidropónica consiste en la recirculación de un flujo permanente de delgada superficie de agua con solución nutritiva que se desplaza sobre tubos de PVC o similares que llegan a un contenedor en común, este flujo son los nutrientes disueltos que necesita la planta para su desarrollo y crecimiento adecuado. La planta absorbe los nutrientes debido al contacto que tienen sus raíces con dicha lámina.

Lecho de sustrato, orgánico o inorgánico (Grow bed)

Esta técnica es la utilizada en la investigación, es similar al cultivo convencional, con la diferencia que no se utiliza tierra sino un soporte o material llamado sustrato. El primer papel importante del sustrato es brinda las condiciones y superficie necesaria para que las bacterias nitrificantes pueden colonizarse y desarrollarse; estas bacterias harán el proceso de nitrificación para dotar de nutrientes a los cultivos sostenidos en el sistema.

Los sistemas con sustrato pueden utilizar flujo de agua continuo o flujos por inundación discontinua, garantizando la entrada continua de oxígeno al sustrato y favoreciendo al proceso de nitrificación.

Raíz flotante (“Raft System”)

Este sistema es el más sencillo de realizar y de bajo costo, el cual consiste en colocar la solución nutritiva en recipientes en ausencia de luz con una tapa con orificios en donde se colocan las plantas para que las raíces entren en contacto con la solución nutritiva, generalmente esta tapa es una plancha de espuma. Los cultivos que mejor se adaptan son aquellos de hoja como lechuga, espinaca y el de plantas aromáticas (Gilsanz, 2007, pág. 18).

2.2.11. Acuaponía

El fin de la Acuicultura (crianza de peces y/o moluscos) ha sido eliminar eficazmente los diversos componentes tanto orgánicos como inorgánicos producto del metabolismo de la especie en cultivo, presentes en los efluentes. Una alternativa que da solución a mejorar la calidad de dichos efluentes es la integración de la acuicultura y la agricultura hidropónica, esto es como Acuaponía, la cual consiste en reaprovechar lo desechado por un sistema volviéndolo materia prima para otro sistema, es decir se reutilizan los efluentes procedentes de la acuicultura, eliminando la materia orgánica, para servir como fuente de nutrientes a la producción de cultivos.

Así mismo uno de los más importantes investigadores de este sistema es Rakocy, quien desarrolló un sistema de cultivo acuapónico que lleva en funcionamiento más de 25 años. Con dichos sistemas fueron realizadas numerosas experiencias, obteniendo valiosos resultados para el desarrollo de la actividad (Caló, 2011).

2.2.12. Acuaponía en la actualidad

La acuaponía hoy en día es considerada como una alternativa moderna y sustentable de producción de alimentos que puede aumentar los rendimientos y bajar los costos de producción tanto de peces como de cultivos, sin la necesidad de utilizar fertilizantes en la producción de hortalizas, ni grandes extensión territorial ya que las aguas residuales del sistema de producción de peces proporcionan nutrientes que necesitan las plantas para su desarrollo.

2.2.13. Sistema acuapónico

El espacio y el nivel de alcance que se desea llegar a producir son determinantes para el diseño de un sistema acuapónico, no obstante, se tiene que seguir un prototipo de diseño para garantizar el buen funcionamiento.

Candarle (s.f) señala que el diseño general de un sistema acuapónico abarca uno o más contenedores para los peces, seguido de un contenedor con estructura que permita una filtración mecánica (o remoción de sólidos) y posteriormente uno con área suficiente para el proceso de biofiltrado. Luego de estas unidades para los tratamientos previos, recién se ubicarán las unidades para alojamiento del componente vegetal (o subsistema hidropónico), y luego un sumidero o colector de agua del sistema en el nivel más bajo, donde generalmente es instalada la bomba que provocará la circulación del agua en el sistema.

En la Tabla 3 se detalla estos requerimientos por especie de cultivo, el caso más común evidenciado es de las especies de tilapias y peces ornamentales como el *Carassius*, conocidos como goldfish.

Tabla 3. Tolerancia de parámetros en sistema de acuaponía

Especie de cultivo	Temperatura (°C)		Nitrógeno NAT (mg/L)	Nitrito	Oxígeno	%Proteína en alimento	Tiempo de Crecimiento
	Vital	Óptima					
Carpa común (Cyprinus carpio)	4 a 34	25 a 30	<1	<1	>4	30 a 38	600 gr en 10 meses
Tilapia de Nilo (Oreochromis niloticus)	14 a 36	27 a 30	<2	<1	>4	28 a 32	600 gr en 7 meses
Bagre del canal (Ictalurus punctatus)	5 a 34	25 a 30	<1	<1	>3	25 a 36	400 gr en 8 meses
Trucha arco iris (Oncorhynchus mikyss)	10 a 18	14 a 16	<0,5	<0,3	>6	42	1 Kr en 15 meses
Cabeza chata (Mugil cephalus)	8 a 32	20 a 27	<1	<1	>4	30 a 34	750 gr en 10 meses
Camaron de agua dulce (Macrobrachium rosenbergii)	18 a 34	26 a 29	<0,5	<2	>3	35	30 gr en 4 meses

Datos obtenidos de Somerville 2014, citado por Candarle s.f.

2.2.14. Ventajas y desventajas del Sistema de recirculación Acuapónico

Entre las ventajas se encuentran las siguientes:

- a) Reduce y aprovecha los residuos que son vertidos al ambiente directamente sin ningún tratamiento previo.
- b) Debido a que los cultivos hidropónicos toman cierto porcentaje sustancial de los nutrientes disueltos en el agua, la tasa de intercambio de agua se disminuye.
- c) La incorporación de un cultivo secundario de plantas, que recibe la mayoría de los nutrientes necesarios sin costo adicional.

- d) No hay necesidad de utilizar biofiltros separados y costosos. Es así como en sistemas de acuaponía, el componente hidropónico puede proporcionar biofiltración suficiente para el cultivo de organismos acuáticos (Muñoz Gutiérrez, 2012).
- e) Se utilizan métodos de control biológico en lugar de pesticidas para proteger las plantas de plagas y enfermedades.

Entre las desventajas se encuentran las siguientes:

- a) La esencia de los Sistemas de Recirculación Acuapónicos se basa en dos tipos de producciones, la vegetal y la animal. Por esta razón, es indispensable que se tengan conocimientos suficientes en las áreas de acuicultura y horticultura para poder ofrecer soluciones y mejoras a los sistemas de producción (Muñoz Gutiérrez, 2012).
- b) Complejidad que se tiene para mantener un balance casi perfecto entre las dos producciones para no afectar ninguno de los dos procesos.
- c) Existe un aumento de gastos energéticos para mover el agua.
- d) Una vez instalado el sistema, la inversión en la alimentación podría convertirse en el factor más costoso de todo el sistema, por lo que hay que poner especial atención.

2.2.15. Cultivos Acuapónicos

Las naturaleza de los cultivos acuapónicos suelen ser más homogéneas e involucran menores riesgos a la salud, al no presentar patógenos que podrían estar en el mismo suelo. Las especies cultivadas deben ser sometidas a la evaluación de

distintos factores y requerimientos de los parámetros ambientales para su crecimiento y producción detallados en la Tabla 4. Los cultivos de plantas denominadas “de hojas” son muy aptos para el manejo de siembras y cosechas, mostrando un rápido crecimiento, por lo que son extremadamente apropiadas para las cosechas en períodos cortos en sistemas acuapónicos, como lo muestra la siguiente tabla (Candarle, s.f):

*Tabla 4.
Parámetros generales de vegetales cultivados en acuaponía.*

Cultivo	pH	Plantas/ m ²	Tiempo germinación (días)	Tiempo de crecimiento (semanas)	Temperatura (°C)	Exposición solar
Albahaca	5,5-6,5	8-40	6-7	5-6	20-25	Moderada /Alta
Lechuga	6-7	20-25	3-6	4-5	15-22	Moderada /Alta
Acelga	6-7,5	15-20	4-5	4-5	15-25	Moderada /Alta

Datos obtenidos de Candarle s.f.

2.2.16. La lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) con sus diferentes características en cuanto a formas y colores, a pesar de producirse en países de climas templados y subtropicales. Saavedra del R. (2017) señala que *Lactuca sativa* fue descrita por el científico naturalista sueco Carlos Linneus en el año 1753. *Lactuca* es un nombre genérico que procede del latín *lactis* (que significa “leche”), que se refiere al líquido lechoso, o de apariencia láctea, que es la savia que exudan los tallos de esta planta al ser cortados y, *sativa* es un epíteto que hace referencia a su carácter de especie cultivada.

Germinación, crecimiento desarrollo de la lechuga

La temperatura entre 15 y 18° es considerada óptima, la lechuga prefiere temperaturas frescas para formar una cabeza más compacta; la mínima es de 12°C, bajo esta temperatura la planta no crece; y la máxima entre 18 y 24°C, temperaturas superiores producen deterioro de la lechuga por crear cabezas más sueltas y con tendencia a emisión de tallo floral o “subida”. Sin embargo, estas temperaturas son generales, cada tipo de lechuga tiene requerimientos propios de temperatura para su crecimiento (Saavedra Del R., 2017).

Demanda de agua en el cultivo de lechuga

La cantidad de agua depende de la capacidad que tiene el suelo o sustrato para retenerla, además de la tasa de evapotranspiración del sistema del cultivo de lechugas.

Las lechugas son extremadamente sensibles al estrés hídrico. La producción del cultivo se verá afectado directamente si el riego se retrasa o la humedad del entorno tiene bajos valores, independientemente del tipo de riego que se utilice. La reducción del tamaño y engrosamiento de las hojas es el efecto más inmediato del estrés hídrico que presentan las lechugas (Saavedra Del R., 2017, pág. 99).

Producción de lechuga en el Perú

De acuerdo con un sondeo de mercado, los clientes consumen la lechuga en ensaladas y exigen calidad, precio y presentación, es decir los consumidores prefieren una lechuga fresca y cultivada

bajo condiciones higiénicas óptimas, siendo este el primer factor determinante para el cliente, seguido del precio (Universidad del Pacífico & Ministerio de la Producción, s.f, pág. 3).

Según el INEI, la mayor producción de Lechugas se da en Lima incluyendo todas sus provincias con 27 106 toneladas métricas seguida de la producción de Lima Metropolitana con 20 561 toneladas métricas. La menor producción se observa en el departamento de Madre de Dios con 8 toneladas métricas, en departamentos como Huancavelica, Cerro de Pasco, San Martín y la región del Callao no se observa ninguna producción de esta hortaliza.

2.2.17. La albahaca

La albahaca (*Ocimum basilicum*) es una planta aromática de crecimiento rápido, su nombre genérico deriva de la palabra griega ókimon que se traduce como oloroso, por la fragancia de sus hojas. Esta planta se desarrolla con gran tolerancia ambiental y sin problemas en sistemas hidropónicos, además de emplear como ingrediente en la industria de la medicina tradicional, aromaterapia y en la preparación de alimentos.

Cultivo de la albahaca

Esta hortícola se desarrolla bien a exposición directa de sol o con sombra parcial. La característica de esta planta es su facilidad de adaptarse a cualquier sitio de cultivo, se puede cultivar en huertos o parcelas, pero también en recipientes, macetas de barro, en azoteas y balcones.

Producción de Albahacas en el Perú

La mayor producción de albahacas según el INEI, se centra en Lima Metropolitana con 3579 toneladas métricas a comparación con Lima Provincias, donde se da la menor producción con 18 toneladas métricas. En nuestro país la producción de la albahaca es menor en comparación con la producción de la lechuga.

2.2.18. Acelga

La acelga es una hortaliza de origen mediterráneo. El origen de la acelga está vinculado a las tierras bañadas por el mar Mediterráneo, durante muchos siglos fue un alimento básico de las sociedades europeas y norte de África. Algunos expertos consideran Italia como primera referencia para su utilización en la alimentación. La acelga es una planta de clima templado, que vegeta bien con temperaturas medias, le perjudican bastante los cambios bruscos de estas y cuando las bajas siguen a las elevadas, pueden hacer que se inicie la subida a flor.

Producción de acelga en el Perú

La mayor producción de albahacas según el INEI, la mayor producción de acelgas se centra en Lima Metropolitana con 3689 toneladas métricas seguido del departamento de Arequipa con 1843 toneladas métricas. En Apurímac se da la menor producción de esta hortícola con 48 toneladas métricas.

2.2.19. Control de pestes y plagas en los cultivos acuapónicos

Las plagas y las pestes en sistemas acuapónicos no pueden ser tratados con agentes agroquímicos porque produciría un impacto negativo para los peces del sistema. Este manejo particular genera una ventaja para los sistemas acuapónicos, si bien existen una serie de normas y protocolos de producción para la certificación de los productos orgánicos, la producción acuapónica encaja en los principales aspectos de producción, como el no uso de agroquímicos y no uso de antibióticos en alimento para peces.

Los métodos de control para plagas, involucran el uso de compuestos orgánicos; muchos de elaboración casera, puesto que, aunque existan comercialmente, suelen ser de valor elevados (Candarle, s.f).

2.2.20. Proceso de Nitrificación

Carruthers (2015) señala que en los Sistemas Recirculación Acuapónicos el proceso biológico más importante es el proceso de nitrificación, llamado también Biofiltración (o filtración Biológica), que es un componente esencial del Ciclo de Nitrógeno. El nitrógeno es el nutriente inorgánico más importante debido a que es utilizado para sintetizar aminoácidos y compuestos nitrogenados esenciales para una gran mayoría de seres vivos y especialmente para las plantas, pero no pueden obtenerlo directamente de la atmósfera, así, que lo utilizan en forma de sales minerales provenientes del suelo o disueltas en el agua (Bañuelo Jáuregui, 2017).

En sistemas acuapónicos el amoníaco es el producto natural del metabolismo de proteína de los peces, este producto es convertido para hacerlo asimilable para las plantas por medio del proceso de nitrificación.

Para que ocurra el proceso de nitrificación del amoníaco se necesitan de bacterias que juegan un rol importante en dos etapas para convertir los desechos de los peces. Los dos tipos de bacterias son, Nitrosomonas y Nitrobacter, las bacterias Nitrosomonas convierten el amoníaco (NH_3), que es muy tóxico para los peces, a nitrito (NO_2), sin embargo, el nitrito no es una forma fácilmente utilizada para el crecimiento de las plantas. Por lo que las bacterias Nitrobacter convierten el nitrito (NO_2) en nitrato (NO_3) que es la forma de nitrógeno fácilmente absorbida por las raíces necesaria para el crecimiento de las plantas (Sink, s.f).

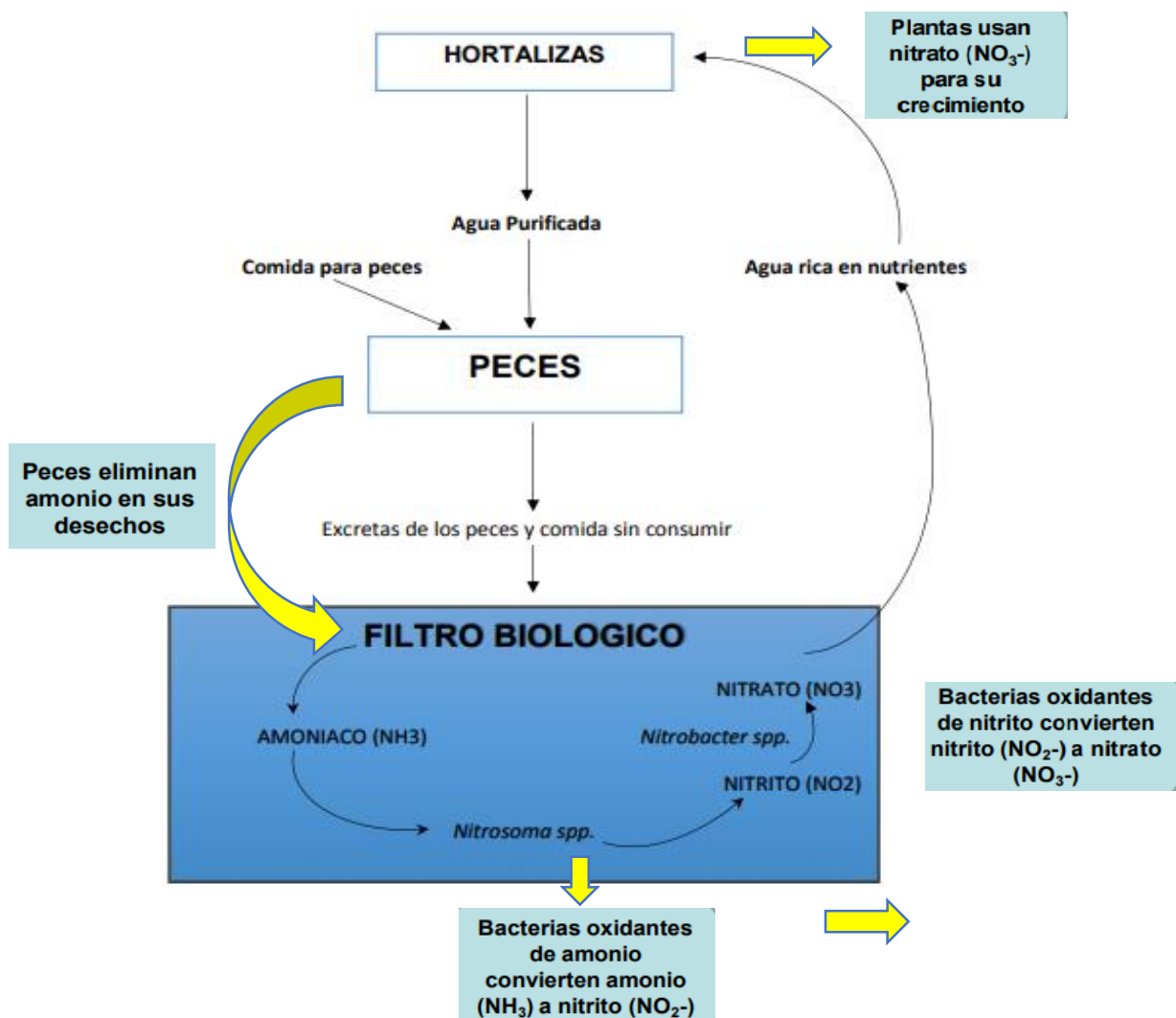


Figura 2. Ciclo del nitrógeno en un sistema acuapónico

Fuente: Adaptado de (Bañuelo Jáuregui, 2017, pág. 15)

2.2.21. Calidad de agua en un SRA

El agua es un componente decisivo en la crianza y desarrollo de organismos acuáticos, para un sistema acuapónico de recirculación la calidad de agua en el tanque de peces depende de las características tanto físicas, químicas y biológicas.

La evaluación del flujo de agua en este sistema también es de suma importancia ya que a un mayor flujo de agua mejora la absorción de nutriente y acelera el metabolismo de las bacterias (Hernández Zambrano, 2017).

En la tabla 5 se muestran los principales estudios en Sistemas Acuapónicos:

Tabla 5. Estudios en Sistemas acuapónicos

Tipo de hidroponía	Especie de pez	Especie de planta	Temperatura de agua (C°)	Consumo de agua (%)	Referencia
Raíz flotante sin sustrato	Tilapia Nilotica	Ipomea acuática	27.5	4.0	Delaide et al, 2017
	Bagre	Ipomea acuática	29	5.2	Biertnazki y Meinecke, 2014
	Tilapia Nilotica	Tomate	26	3.9	Helfrich et al 1990
	Bacalao	Lechuga	21	2.15	Kepenyes, 2001
	Tilapia roja	albahaca	26.5	6.9	Reza, 2013
Hidroponía en sustrato	Carpa	Remolacha	26.3	4.0	Johanna y Dennis, 2016
	Carpa	Repollo chino	26.9	4.2	Zhang et al, 2016
	Tilapia Nilotica	Berenjena	25.0	7.0	Tyson y Treadwell, 2011
	Tilapia roja	Lechuga	>25.0	3.5	McMurtry et al, 2015
NFT	Tilapia Nilotica	Tomate	25	3.83	Kloas et al, 2015
	Tilapia roja	Lechuga	29.1	5.0	Castillo et al, 2016
	Tilapia roja	Lechuga	28	4.0	Al- Hafedh et al, 2008

Datos obtenidos (Hernández Zambrano, 2017)

2.2.22. Compuestos nitrogenados

Los compuestos nitrogenados están directamente relacionados con la carga de materia orgánica. Uno de los compuestos es el amoníaco que es producto de las excretas de los peces, estas a elevadas concentraciones tienden a ser altamente tóxicos para las sobrevivencias de los peces.

El nitrógeno amoniacal total (NAT) en el agua, se compone de amonio no ionizado o amoníaco (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+) y ambos se encuentran en equilibrio sujeto a la temperatura del agua y al pH como se muestra en la Figura 3. Este equilibrio y su relación con esos factores, son importantes para medir la toxicidad del amoníaco en los peces, dado que los medidores de compuestos nitrogenados no diferencian los porcentajes de cada uno, debiéndose remitir el valor medido a esta función, para poder determinar la incidencia del NH_3 .

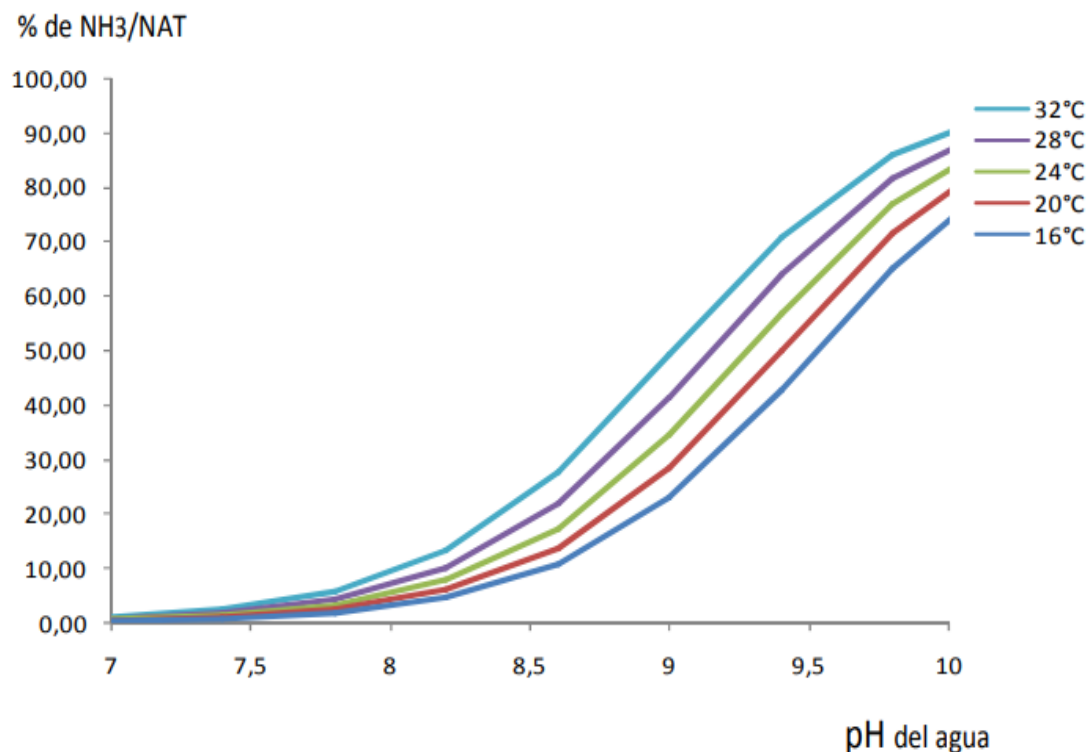
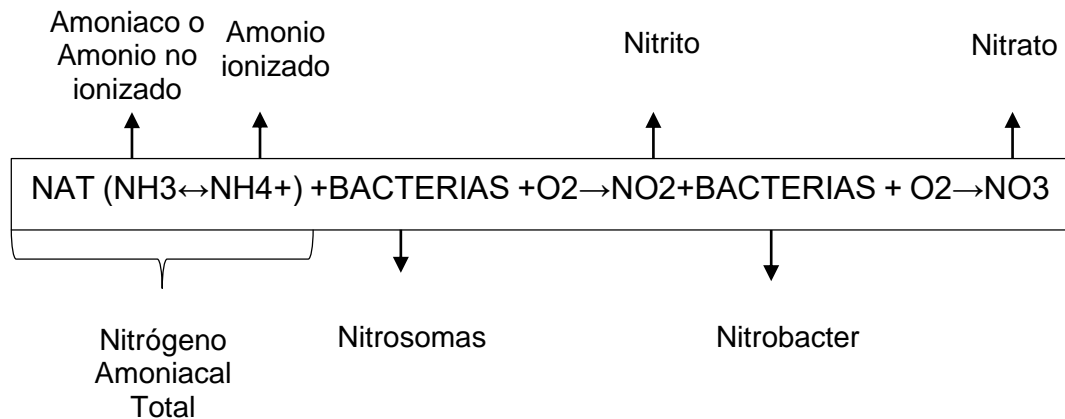


Figura 3. Relación del % de NH_3 sobre el Nitrógeno amoniacal total con el pH del agua a diferentes temperaturas

Fuente: (Candarle, s.f)

Durante la nitrificación, el NAT es paulatinamente convertido en una primera etapa a nitrito (NO₂) y luego al producto final nitrato (NO₃) por las bacterias nitrificantes estrictamente aeróbicas. El proceso es básicamente una oxidación como lo muestra la siguiente reacción:



La toxicidad del amonio en forma no ionizada (NH₃), aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto es bajo, el pH indica valores altos (alcalino) y la temperatura es alta. Cuando los valores de pH son bajos (ácidos), el amonio no causa mortalidades. Los valores de amonio deben ser menores a 1 ppm o miligramo por litro (mg/l, el nivel de tolerancia para la tilapia se encuentra en el rango de 0.6 a 2.0 ppm.), valores cercanos a 2 ppm son críticos (Nicovita, 2002, pág. 12).

Otro compuesto presente en el sistema acuapónico son los nitritos NO₂ producidos a partir del NH₄, a través de un proceso de oxidación el cual es realizado principalmente por las bacterias Nitrosomonas las cuales transforman el amonio a nitrito. Es necesario mantener la concentración por debajo de 0.1 ppm, haciendo recambios fuertes, limitando la alimentación y evitando concentraciones altas de amonio en el agua, ya que los nitritos pueden ser estresantes para el pez (Casas Mayo, 2008).

La toxicidad causada por el NO₂ puede ser prevenida de la siguiente manera:

- a) Suministrar la cantidad de alimento de forma balanceada.
- b) Mezclar las aguas, durante periodos de oxígeno disuelto.
- c) Añadiendo agua de alta calidad en el sistema
- d) Mantener pH>7 y alta dureza de calcio.

Para que las plantas tengan un crecimiento y desarrollo adecuado deben incorporar a sus células nitrógeno en forma de nitratos para la síntesis de aminoácidos. Sin embargo en los sistemas de recirculación acuícola convencionales los nitratos se pierden en la atmosfera a través de la gasificación. Por tal motivo es relevante el papel que juegan las plantas en acuaponía, ya que éstas al formar parte de los filtros biológicos, absorben compuestos nitrogenados que son utilizados para la producción de biomasa.

El nitrato es el compuesto nitrogenado producto de la transformación de nitrito a nitrato por parte de las bacterias Nitrobacter sp en el proceso de Nitrificación. Davila (2004) señala “Por lo general niveles hasta los 200 ppm son tolerados sin ningún problema por los peces y solo cuando la exposición es prolongada puede llegar a causar daños en el sistema inmunológico aumentando su vulnerabilidad ante cualquier ataque de enfermedades” (Casas Mayo, 2008).

Los nitratos sirven para fertilizar las plantas y son convertidos en proteínas:



En condiciones anaeróbicas, los nitratos son reducidos a nitritos y estos a gas nitrógeno por bacterias. Este proceso se conoce como desnitrificación y ocurre en dos etapas: cuando los nitratos se reducen a nitrito y estos en nitrógeno gaseoso.

2.2.23. Oxígeno disuelto

Cuando en un sistema acuapónico los niveles de oxígeno disuelto disminuyen en el tanque de peces, cae a rangos subnormales (< 1mg/l), las tilapias se colocan en la superficie del agua, buscando tomar directamente el oxígeno de la atmosfera, para lo cual extienden los labios permitiendo el ingreso del oxígeno. Esa ventaja fisiológica, permite que los peces avisen del problema y es fácil de comprobar la deficiencia de oxígeno ya que entre las 5 a 7 horas casi todos los peces suben a la superficie a “boquear”. Los rangos y efectos del Oxígeno Disuelto según Nicovita (2002) se describen en la Tabla 6:

Tabla 6. Rangos de oxígeno disuelto en acuaponía

OXIGENO (PPM)	EFEECTO
0-0,3	Los peces pequeños sobreviven en cortos periodos
0,3-2,0	Letal a exposiciones prolongadas
3,0-4,0	Los peces sobreviven, pero crecen lentamente
>4,5	Rango deseable para el crecimiento del pez

Datos obtenidos de (Nicovita, 2002)

Gonzales y Heredia (1998) menciona que los valores de índice de conversión alimenticia el cual está definido como la relación entre el peso del alimento suministrado y convertido en tejido de pez, son más altos en estanques con bajas concentraciones de oxígeno a comparación de estanques con altas concentraciones (Casas Mayo, 2008).

En la tabla 7 se muestran algunos factores que conllevan a la disminución del Oxígeno Disuelto en la crianza de tilapias. Si tenemos una alta densidad de siembra, el oxígeno disuelto tiende a disminuir ya que la demanda de oxígeno de los peces es mayor.

Además de la densidad de siembra, existen otros factores que pueden alterar el oxígeno disuelto en el agua, tales como la alta concentración de excretas, alimento no consumido, descomposición de la materia orgánica, aumento de la temperatura, respiración de otros organismos que se pueden desarrollar en los tanques de cultivo, y por medio de la liberación del oxígeno a la atmosfera por la evaporación del agua.

La disminución del Oxígeno Disuelto en el agua afecta al desarrollo de los peces, volviéndolos más susceptibles a enfermedades, afecta el consumo de alimento y genera estrés en los peces, lo que conlleva a una menor tasa de crecimiento y afecta los costos de producción.

Tabla 7. Factores y consecuencias de niveles bajos de oxígeno disuelto en la cama de cultivo

ALGUNOS FACTORES QUE DISMINUYEN EL NIVEL DE O ₂	CONSECUENCIA DE EXPOSICION PROLONGADA A VALORES BAJOS DE O ₂
Densidad de siembra	Menor tasa de crecimiento
Heces	Mayor tasa de conversión alimenticia
Alimento no consumido	Inapetencia y estrés
Descomposición de materia orgánica	Sistema inmunológico disminuido
Aumento de la temperatura	Susceptible a enfermedades
Respiración de fauna acompañante	Mortalidad
Liberación de O ₂ del agua a la atmósfera	Mayores costos de producción

Datos obtenidos de Fuente (FONDEPES)

Mientras que Bustamante (s.f) considera los siguientes rangos de oxígeno disuelto de acuerdo a la capacidad que pueden tener los peces. A una concentración menor de 3mg/L se considera una concentración muy baja para la mayoría de los peces, de 3 a 5mg/L de Oxígeno Disuelto, los peces pueden tolerar de 12 a 24 horas.

A una concentración de 6mg/L los peces pueden reproducirse, pueden crecer sin ningún inconveniente a una concentración de 7mg/L y concentraciones mayores a 9mg/L se pueden manejar grandes densidades de siembra de peces.

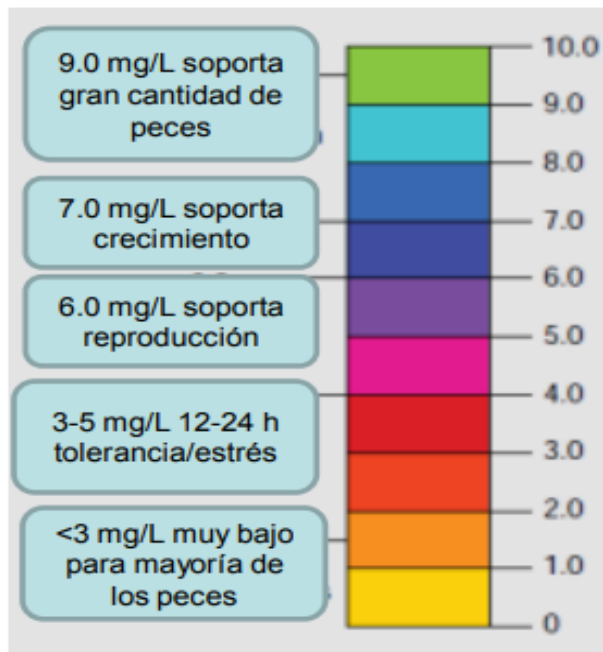


Figura 4. Oxígeno Disuelto en sistemas acuapónicos

Fuente: (Bustamante, s.f)

2.2.24. Temperatura

Otro parámetro importante del sistema acuapónico es la temperatura, ya que esta puede influenciar sobre el crecimiento y desarrollo de los peces y de la misma manera en la actividad biológica del sistema. El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28°C y 32°C, temperaturas muy por debajo de este rango o muy por encima ocasionaran disminución de su crecimiento haciéndola más susceptible a las enfermedades (Nicovita, 2002).

Por otra parte, existe una relación muy importante entre la temperatura y la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, a mayor temperatura la cantidad de oxígeno en el agua será menor, mientras que, a menor temperatura la cantidad de oxígeno disuelto en el agua será mayor. Hernández Zambrano (2017) expresa en la siguiente tabla 8 los parámetros básicos en los cuales se deben encontrar los cultivos de peces, plantas y bacterias para obtener los rendimientos más altos, de acuerdo al tipo de pez y planta del

sistema acuapónico se realiza un promedio de estos valores para garantizar niveles adecuados en todo el sistema.

Tabla 8. Parámetros del Sistema Acuapónico

Parámetro	Peces	Plantas	Bacterias
pH	6-8	6-7	5.5-7
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3-9	3-5	4-7
Temperatura (°C)	15-30	17-25	15-25

Datos obtenidos de Fuente: (Hernández Zambrano, 2017)

2.2.25. pH

. Es un parámetro básico que indica la concentración de iones de hidrogeno en el agua y nos indica el grado de acidez o alcalinidad del agua. Esta variable tiene mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua. Dentro de la calidad del agua el pH interviene determinando si un cuerpo de agua es dura o blanda, es decir, evalúa los niveles de carbonatos presentes para el desarrollo del cultivo de una especie acuícola (Bautista Covarrubias & Ruiz Velazco Arce, 2011).

El pH posee un comportamiento variado dependiendo de la hora del día y la profundidad del agua, es decir fluctúa en un ciclo diurno, principalmente influenciada por la concentración de CO₂, componente existe en el sistema como se muestra en la Figura 5.

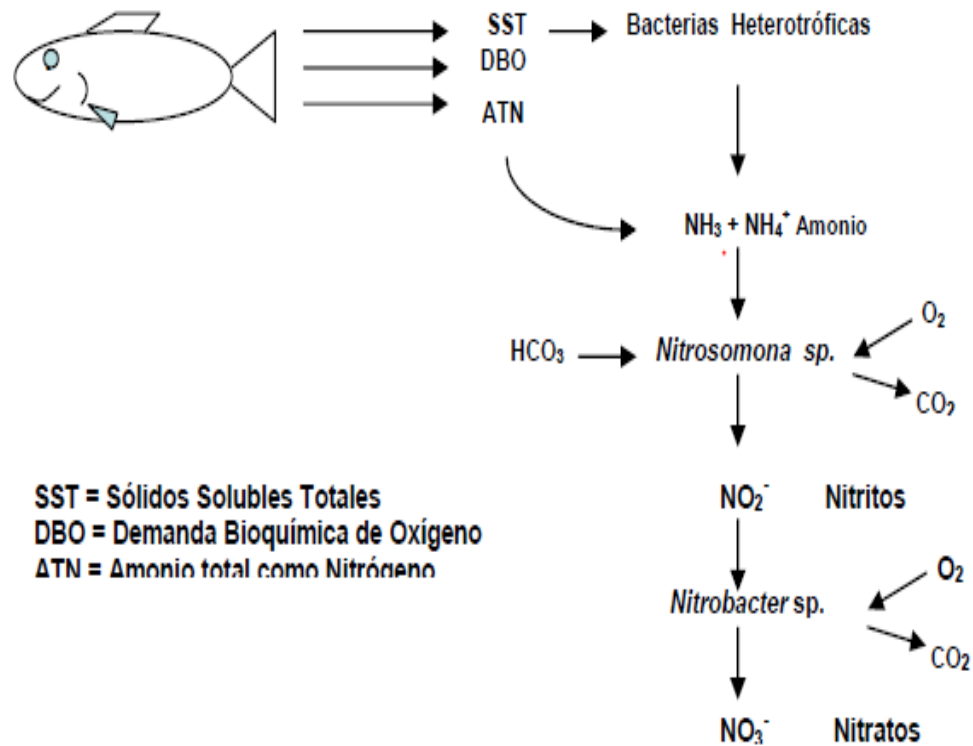


Figura 5. Ciclo del nitrógeno en acuaponía

Fuente: (Casas Mayo, 2008)

Durante el día el CO₂ es utilizado por el fitoplancton presente en el agua para su fotosíntesis, lo que ocasiona un aumento en el pH. Por las noches la actividad fotosintética se detiene y ocurre un incremento en la concentración de CO₂, lo que causa una disminución del pH. El rango más adecuado para las actividades acuícolas se ubica entre 6,4 – 8,5, por lo general el pH no es un factor limitante en la producción acuícola ya que los peces tienen un rango amplio de tolerancia para su desarrollo (Casas Mayo, 2008).

2.3. Definición de Términos Básicos

Amonio

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

Arlita

Son bolas de arcilla expandida que se logran sometiendo piezas de arcilla a grandes temperaturas y a un proceso de gasificación que logra hacerla muy porosas para la retención de humedad. Es utilizada como un tipo de sustrato inerte en Hidroponía, su función en estos sistemas es servir de anclaje a las raíces, sustituyendo a otros sustratos como la tierra. En principio se comenzó a utilizar en construcción para aligerar el peso del concreto, pero luego con el inicio de los cultivos hidropónicos se empezó a comprobar que funcionaba muy bien para sustentar a las plantas.

Aguas Lóticas

Son las aguas que se encuentran continuamente en movimiento, sin importar la velocidad.

Bacterias Nitrobacter

Son bacterias aerobias presentes en el proceso de nitrificación, las cuales se encargan de oxidar el Nitrito (NO_2) para producir Nitrato (NO_3), compuesto que puede ser asimilado por las plantas en la cama de cultivo.

Bacterias nitrosomas

Son bacterias aerobias presentes en el proceso de nitrificación, las cuales se encargan de oxidar al amonio en presencia de Oxígeno produciendo Nitrito (NO_2).

Balsas flotantes

Es un tipo de sistema de cultivo en acuaponía basados en grandes volúmenes de agua que hace de soporte para alojar a los cultivos y cumplen la función de reservorio del sistema.

Biomasa

Cualquier estimación cuantitativa de la masa total de organismos que comprende toda o una parte de una población o cualquier otra unidad dada dentro de un área en un momento determinado; medida como volumen, masa (peso vivo, muerto, seco o libre de cenizas) o energía (joules o calorías).

Cultivo Acuapónicos

Son cultivos obtenidos mediante el sistema acuapónico, la fuente de nutrientes de estos cultivos depende de la calidad de agua de la acuicultura y del desarrollo de las bacterias nitrificantes del medio.

Desnitrificación

Se produce principalmente en condiciones anaerobias, en los ecosistemas acuáticos el lugar principal de su presencia son los sedimentos, donde no existe oxígeno disponible, es decir es reducción anaeróbica de nitrato a nitrógeno molecular gaseoso.

Factor de Conversión alimenticia

Estima la cantidad de alimento consumido en gramos para producir una cantidad de peso de los organismos.

Filtro biológico o biofiltro

Se trata de un refugio condiciones necesarias para que las bacterias nitrificantes puedan establecerse y permitir el proceso de nitrificación, el que deberá monitorearse para su correcto funcionamiento.

Filtrado mecánico del agua

El agua pasará a través de masas filtrantes (esponjas, perlón...) por medio de una bomba sumergida que la impulsa. El filtro deberá ser limpiado con regularidad. - Filtrado biológico del agua: Hidroponía.

Hidroponía

Serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición. El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas HYDRO que significa agua y PONOS que significa trabajo.

Nitritos

Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos. La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruros, temperatura y concentración de oxígeno en el agua.

NFT

Es el método más popularizado en hidroponía, permitiendo gran versatilidad y practicidad a la hora de su montaje obteniendo altos rendimientos de producción por superficie.

Nitrificación

El proceso de la remoción de nitrógeno amoniacal, procedente de las excretas de los peces en el estanque, en un filtro biológico se denomina nitrificación. La nitrificación comienza con la oxidación del amoníaco primero a nitrito (NO_2) por las bacterias autotróficas, conocidas como nitrificantes, y finalmente a nitrato (NO_3). Estas bacterias pertenecen a dos grupos denominadas Nitrosomas y Nitrobacter.

Psicultura

Es el cultivo de peces bajo condiciones controladas y semicontroladas, entre las especies más cultivadas está el cultivo de tilapias, trucha, gamitana, etc.

Sustrato

Cualquier medio que se utilice para cultivar plantas en contenedores. El sustrato tiene dos funciones muy importantes, el primero es anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar y el segundo; contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Modelo de solución propuesto

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se elaboró un prototipo de Sistema de Recirculación Acuapónico. Para poner en marcha el sistema se ha simulado un criadero de peces con 23 ejemplares de tilapias del género *Oreochromis niloticus* (tilapia gris).

Para la instalación del Sistema de Recirculación acuapónico se necesitaron los siguientes materiales:

Tabla 9. Materiales, herramientas y equipos utilizados en el sistema acuapónico de recirculación

MATERIALES	HERRAMIENTAS	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> - Tubos PVC - Sustrato inerte Arlita (arcilla expandida) - Tanque de plástico - Codos PVC - Niple corrido - Manguera - Depósito de plástico - Balde de plástico - Esponja - Pegamento azul 	<ul style="list-style-type: none"> - Extensión de corriente eléctrica de 10 metros. - Cuaderno de campo(Formatos) - Wincha - Cierra y Lija N°80 - Teflón - Silicona 	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza - Dremel 3000. - Cámara fotográfica - Bomba de agua - Termómetro <p>EPPS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Guantes anticorte - Lentes de protección - Guardapolvo

- Tanque de plástico: Se utilizó para el criadero de tilapias de 0,42 m de altura x 0,42 m de ancho x 0,6 m de largo (0,10584 m³).
- Depósito de plástico: Se utilizó para el cultivo de hortalizas con una altura de 0,35 m x 0,40 m de ancho x 0,8 m de largo (0,112 m³).
- Balde de plástico: Fue usado como decantador del agua bombeada desde el estanque de peces hacia la cama de cultivo.
- Bomba de agua: Bomba de agua de la marca Sobo WP-3500 con un caudal de 1200 L/H y alcance de 1.5 metros de altura máxima.
- Tubos de PVC: para la conexión de todo el sistema de circulación de agua.

1. Bomba de agua
2. Depósitos de plástico
3. Silicona
4. Pegamento azul
5. Wincha
6. Sierra

7. Niple corrido
8. Codos de PVC
9. Guante anticorte
10. Lija
11. Tubos con codos PVC

12. Dremel 3000
13. Balde

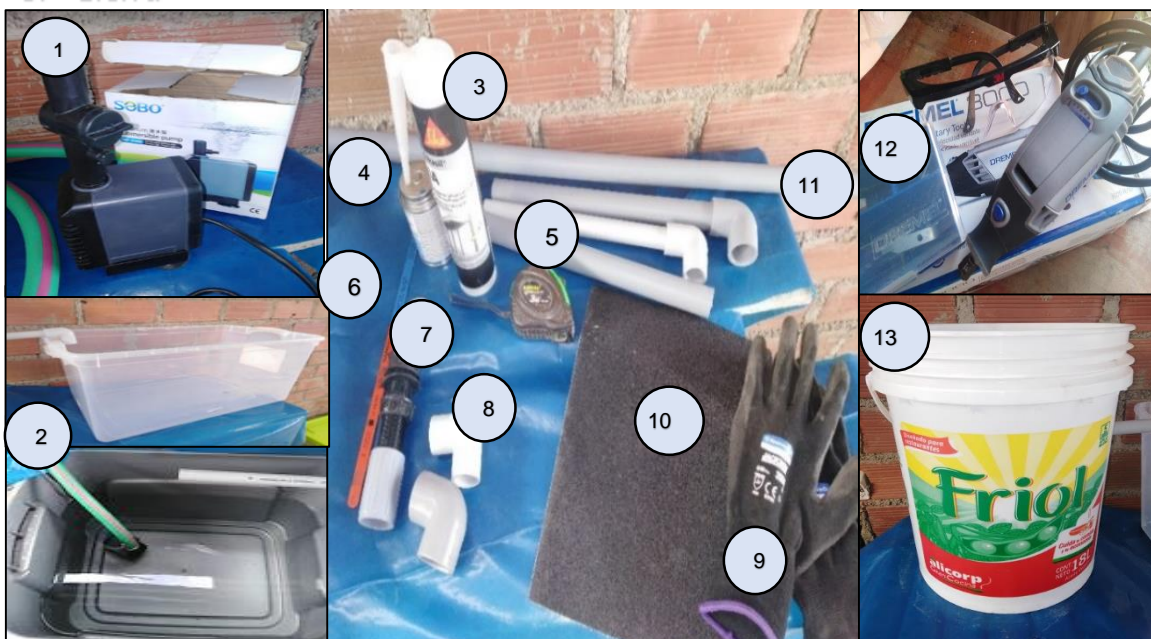


Figura 6. Herramientas, materiales y equipos para la instalación del sistema Acuapónico

Para la instalación del drenaje de agua en la cama de cultivo se necesitó:

- Un Tubo PVC de 4' de diámetro x 25 cm de alto.
- Un Tubo PVC de 3/4' de diámetro x 6 cm de alto.
- Un Niple corrido de 3/4' de diámetro: unión de tubos de PVC por el agujero en la base de la cama de cultivo drenando el agua de la cama hacia el estanque de peces nuevamente.



Figura 7. Sistema de drenaje de la cama de cultivo de hortalizas

Para la instalación del decantador se necesitó:

- Un balde de 18L: Al balde se le hizo dos orificios, el primero a 25 cm de la base y el segundo a 19 cm.
- Una manguera de 2 cm de diámetro: conectada por un extremo en la bomba y el otro al decantador por el orificio más alto.
- Un codo de 1/2' de diámetro: conectada a la manguera de 2 cm de diámetro en la parte interna del decantador.
- Tubo de 1/2' de diámetro x 7 cm de altura: Conectada al codo de 1/2' de diámetro.

- Esponja: Sirvió para la retención de excretas y/o restos de alimentos.

La realización de la presente investigación conllevó 3 fases:

Primera fase:

Instalación del sistema acuapónico de recirculación

Se elaboró el diseño del sistema acuapónico de recirculación: El sistema acuapónico fue diseñado a modelo piloto. Ver *Anexo N°2. Plano del Sistema Piloto Acuapónico de Recirculación.*

a) La implementación abarco las siguientes actividades:

- Delimitación del área para la instalación del sistema.
- Se tomaron medidas para la correcta distribución de las camas de cultivo de hortalizas y peces.
- Se cortaron los tubos a medida, según diseño elaborado, a fin de conducir el agua para el bombeo, la decantación, y la correcta recirculación en el sistema.
- Se conectaron todos los tubos de agua cortados para unificar nuestro sistema.



Figura 8. Pegamento azul para conexión de todas las tuberías

- b) Armado e instalación del drenaje de agua de la cama de cultivo
- En la base de la cama de cultivo de hortalizas, se perforo un orificio con diámetro de 3/4'.



Figura 9. Perforación de la base de la cama de cultivo para el drenaje de agua

- Se colocó el niple corrido de 3/4' de diámetro, (Conjunto de argollas que conecta a los tubos evitando filtraciones).



Figura 10. Instalación del niple corrido de 3/4' de diámetro asegurando con teflón.

- Se cortó el tubo de 4' de diámetro a una altura de 25 cm y se procedió hacer aberturas en toda la superficie del tubo, a fin de facilitar solo el ingreso de agua más no pedazos de la arlita (sustrato inerte en la cama de cultivo).



Figura 11. Tubo PVC de 4' de diámetro x 25 cm de altura con aberturas para evitar el paso de sólidos

- Finalmente se cortó el tubo de 3/4' de diámetro a 6 cm de altura, se conectó al niple corrido de 3/4' de diámetro y se colocó el tubo de 4' de diámetro, como se muestra en la figura 14.



Figura 12. Vista superior del drenaje de agua en la cama de cultivo

c) Instalación del decantador

- Para la instalación del decantador se utilizó un balde de 18 L. de capacidad.

- Se procedió a hacer dos orificios en el balde: el primer orificio conectado a la bomba de agua, ubicado en el tanque de peces, de diámetro de 2 cm. El segundo orificio conectado a la cama de cultivo de hortalizas, de 1/2' de diámetro, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 13. Decantador

- Cabe resaltar que los orificios están a distinto nivel, es decir el primer orificio está en unos 2 cm por encima del segundo orificio, a fin de decantar las excretas o residuos de alimento bombeado desde el tanque de cultivo de peces.
- La manguera al interior del decantador está conectada a un codo de 1/2'' de diámetro y a un tubo de 1/2' de diámetro x 7cm de altura.
- La tubería de PVC de 1/2' de diámetro que sale del decantador y llega a la cama de cultivo, está conectada a un codo de 1/2' de diámetro.



Figura 14.conexión del decantador a la cama de cultivo

- d) Instalación de tanque de cultivo de peces y bomba de agua
- Se colocó la bomba de agua en la base de la esquina izquierda del tanque, para que bombee al decantador e ingrese el agua por el orificio más alto de este.
- e) Instalación de la cama de cultivo de hortalizas
- Se introdujo Arlita, el sustrato inerte escogido para este sistema, al depósito de la cama de cultivo a una altura máxima de 20 cm, previo lavado.



Figura 15.Arlita (arcilla expandida)

Segunda fase:

Puesta en marcha del sistema acuapónico

Una vez hecho las conexiones del sistema, se procedió a:

- Conectar la bomba de agua del tanque de peces al suministro de energía.
- Se dejó circular el agua por un periodo de 5 días, a fin de adaptar el medio e identificar posibles fugas.

f) Introducción de los peces al Sistema Acuapónico

- Se introdujeron 23 ejemplares de tilapias, traídas del Centro de Investigación Piscícola CINPIS de la Universidad Agraria la Molina a los cinco días después de poner en marcha el sistema.
- Se procedió con la adaptación de los ejemplares a la temperatura del tanque de peces por aproximadamente 15 minutos antes de liberarlos al tanque.
- Los peces fueron los primeros en introducirse al sistema ya que sus excretas favorecieron la colonización de las bacterias nitrificadoras en el sistema, que a su vez crearon las condiciones óptimas para la siembra de las plantas.



Figura 16. Adaptación de tilapias al estanque de cultivo

g) Introducción de plántulas de lechuga, albahaca y acelga al Sistema Acuapónico:

- Se introdujeron 24 plántulas, entre las cuales 12 fueron albahacas, 8 lechugas y 4 acelgas, traídas del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM) de la Universidad Agraria la Molina, a los quince días de puesta en marcha al sistema.



Figura 17. Izquierda: Plántulas de lechugas Derecha: plántulas de albahaca y acelgas.

Tercera fase:

Monitoreo de la productividad de los cultivos de hortalizas, peces y calidad de agua en el sistema acuapónico para la recirculación.

h) Monitoreo del cultivo de peces

- Se realizó la biometría cada 15 días, es decir se determinó la talla y peso de los peces, para este método se utilizó cinta métrica (wincha) y una balanza digital SF-400 respectivamente, como la investigación duró un periodo de mes y medio se realizaron 4 evaluaciones tanto para la talla como para el peso, los datos se registraron en un formato. Ver Anexo N°3 Ficha de seguimiento de talla y peso de

tilapias (Oreochromis niloticus) en el sistema acuapónico de recirculación.

- Se tomó la talla de cada uno de los ejemplares de tilapias desde el hocico hasta la punta de la aleta caudal.



Figura 18. Medición de talla de las tilapias

- El seguimiento quincenal del peso de las tilapias se hizo en conjunto, es decir se pesaban los 23 peces en un recipiente y luego se dividió entre el número de peces para obtener el peso promedio, además esto permitió determinar la Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) considerando lo referido por Gracia López y Castelló Orvay, (1966) citado por Mariluz Fernández (2015).



Figura 19. Pesada de las tilapias en conjunto

Para poder determinar el crecimiento de un individuo es necesario calcular algunos indicadores que reflejen su eficiencia, entre ellos tenemos:

Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA)

$$TCA = (Pf - Pi) / \text{días}$$

Pf: Peso promedio Final

Pi: Peso promedio Inicial

Conversión Alimenticia (C.A)

$$CA = CAC/PPG$$

CAC: Cantidad de Alimento Consumido

PPG: Peso de pez ganado

Ganancia media diaria (GMD)

Ganancia media diaria = $[(Pf - Pi) / N^{\circ} \text{ de peces final}] / N^{\circ} \text{ de días transcurrido}$

Tasa de crecimiento Específica (TCE)

$$TCE = \frac{\ln(Pf)}{N^{\circ} \text{ de días transcurrido}} - \frac{\ln(Pi)}{N^{\circ} \text{ de días transcurrido}} \times 100$$

Pf: peso promedio final

Pi: peso promedio inicial

- Se llevó el registro de los datos obtenidos a una hoja de cálculo Excel para tener una mejor lectura e interpretación de resultados del desarrollo de los peces.

- Los datos obtenidos sirvieron para la determinación de la ración de alimento tomando en cuenta la tabla 10 Tasa de alimentación para la tilapia según el Manual de Cultivo de Tilapia del Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero FONDEPES.

Tabla 10. Tasa de alimentación para tilapia

FASE	PESO PROMEDIO (g)	TASA DE ALIMENTACION (%)
PRECRÍA	2-50	10-15
CRECIMIENTO	50-150	6-10
ENGORDE	150-300	1.5-3

Datos obtenidos de Fuente: (FONDEPES).

Biomasa

B= Peso promedio x Población

Ración de alimentación

Ración de alimentación= Biomasa x Tasa de Alimentación

Tasa de alimentación se determina de la tabla N°10.

- El alimento utilizado desde el principio hasta el final de la investigación fue alimento balanceado flotante Pellet (2 mm) con proteína al 40, fue suministrado tres veces al día (7:00 a.m. - 12:00 p.m. - 5:00 p.m.).

Sobrevivencia (S)

$$S = \frac{N_f}{N_i} \times 100$$

Donde:

Nf : es el número final de organismos.

Ni : es el número inicial de organismos.



Figura 20. Tilapias en el sistema acuapónico de recirculación

i) Monitoreo del crecimiento de hortalizas

- El seguimiento del crecimiento de los cultivos se realizó cada semana, utilizando una cinta métrica (wincha) se midió la altura visible desde la parte inferior de la planta limitando con el sustrato arlita hasta la última hoja (ápice de la planta) como la investigación duró un periodo de mes y medio se realizaron 5 evaluaciones, los datos se registraron en un formato Excel. Ver *Anexo N°4 Monitoreo del crecimiento de hortalizas en el sistema acuapónico de recirculación.*



Figura 21. Medición de tamaño de las plantas

- Las plantas fueron examinadas periódicamente durante todo el proyecto, para observar y anotar las anomalías que se podrían presentar.
- Se hizo el seguimiento y evaluación continua de los siguientes parámetros de las especies de hortalizas cultivadas: Tipo de hortaliza, crecimiento, tiempo de producción y síntomas de toxicidad.

j) Monitoreo de la Calidad de Agua

- En cuanto a la calidad de Agua del Sistema Acuapónico de Recirculación, se monitoreo el pH y la temperatura de forma diaria utilizando un pHmetro Pen Type PH Y Temperatura ATC.



Figura 22. Monitoreo del pH en el tanque de peces

- Para la temperatura también se utilizó una cinta pegable en el exterior del tanque de peces y un termómetro en la cama de cultivo de hortalizas.

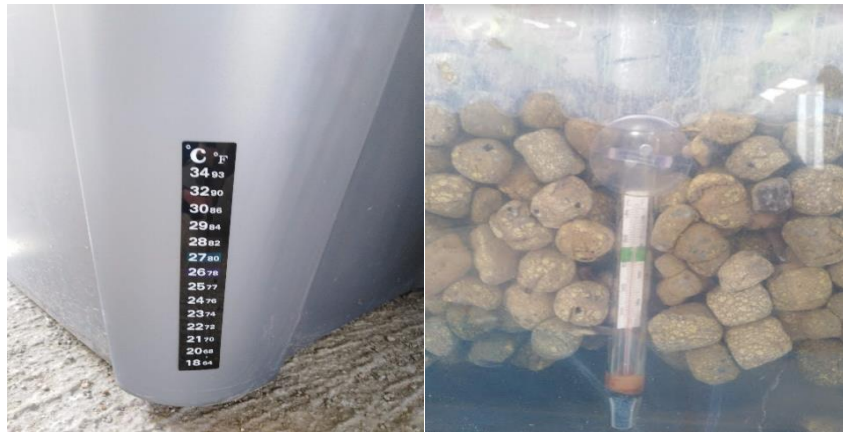


Figura 23. Termómetros usados en los tanques de cultivos

- Los datos se registraron en el *Anexo N°5 Ficha de Monitoreo de pH y temperatura del Sistema Acuapónico de Recirculación*, posterior estos datos se llevaron a una hoja Excel para su fácil manejo.
- Se realizó la primera toma de muestra de agua a los 18 días de puesta en marcha el sistema, el punto fue tomado a la salida del decantador para evaluar la calidad de agua entrante a la cama de cultivo de hortalizas.
- Se llevó al Laboratorio Inspection & Testing Services del Perú S.A.C – ITS, donde se evaluaron los parámetros que se detallan en la Tabla 11:

Tabla 11. Parámetros evaluados en laboratorio del primer punto (salida del decantador)

PARAMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO ITS DEL PRIMER PUNTO(salida del decantador)	
PARAMETRO	UND
Concentración de Nitrito	mg/L
Concentración de Nitrato	mg/L
Concentración de Amoniac	mg/L
Ph	unidades de Ph
Oxígeno Disuelto	mg/L
Presencia de Parásitos, protozoarios y quistes	Nº de organismos/100 mL

- La toma de muestra del segundo punto se realizó a los 39 días de puesta en marcha el sistema con el fin de evidenciar los cambios significativos de los parámetros producto de la acción de los cultivos en un tiempo determinado.



Figura 24. Toma y conservación de muestras de agua

- El segundo punto de muestreo de calidad de agua, se tomó a la salida de la cama de cultivo, evaluándose los parámetros descritos en la tabla 12:

Tabla 12. Parámetros evaluados en laboratorio del segundo punto (salida de la cama de cultivo de hortalizas)

PARAMETROS EVALUADOS EN LABORATORIO ITS DE I	
PRIMER PUNTO(salida del decantador)	
PARAMETRO	UND
Temperatura	C°
Concentración de nitrito	mg/L
Concentración de Nitrato	mg/L
Concentración de Amoniaco	mg/L
Ph	unidades de Ph
Oxígeno Disuelto	mg/L
Turbidez	NTU

- k) Luego de obtener los resultados de laboratorio de las muestras de agua del sistema acuapónico, se procedió a la comparación de resultados obtenidos, a fin de dar las conclusiones y recomendación del presente trabajo de investigación.

3.2. Resultados

Manejo del Sistema Acuapónico de Recirculación

El sistema presento un índice de sobrevivencia del 100%, es decir se comenzó (16/02/19) con 23 tilapias (*Oreochromis niloticus*) y se terminó (31/03/19) con 23 tilapias *Oreochromis niloticus*.

Durante la investigación, los peces se mantuvieron en óptimas condiciones para su crecimiento. Los peces aumentaron en su conjunto, desde 112 gramos hasta 215 gramos con una ganancia promedio de peso de 4.48 gramos/pez. Estos valores detallan el crecimiento de los peces durante 42 días de evaluación.

Se estudió la tasa diaria de reposición de agua para corregir los niveles de agua del sistema que se perdían por evaporación y evapotranspiración de las plantas, por la exposición a las altas temperaturas de la época del año. Las reposiciones eran en función de los niveles de agua en el tanque de peces. El agua repuesta fue de aproximadamente 30,2 L, ya que semanalmente el agua descendía 2 cm en la altura efectiva del tanque de peces.

Para calcular la tasa de renovación del agua, el total de agua añadida fue dividida entre el número total de días que duró la investigación (42 días), obteniendo una renovación de agua media diaria de 0,72 L/día, es decir, una tasa de renovación de agua del 0.82%. Este porcentaje de renovación está por debajo del empleado en sistemas de recirculación convencionales en acuicultura, donde la tasa oscila normalmente entre el 5%-10% diario (Caló, 2011). Esto nos lleva a decir que el sistema piloto con el que hemos ensayado, contribuye significativamente al ahorro de agua.

Variables productivas

- Ratio

Se tomó como referencia la tasa de alimentación descrito por FONDEPES (s.f), una tasa de alimentación del 10-15% de la biomasa total del sistema para la fase de precia de tilapias con un peso promedio de 2-50 gramos. En la tabla 13 se muestra la ración de alimento por cada pesada quincenalmente en el sistema acuapónico de recirculación:

Tabla 13. Valores de la ratio para el sistema acuapónico de recirculación

PESADAS	RACION DIARIA (gramos)
Pesada 1	11
Pesada 2	15
Pesada 3	17
Pesada 4	21

Los valores de ratio obtenidos están dentro del rango de 15 -25 gramos/día a partir de la segunda pesada, descrito por Rakocy et al. (2006) citado por Alcocer Palma (2017), este ratio puede mantener 1m² de cultivos.

- Incremento de peso en las tilapias

En la tabla 14 se muestra los resultados obtenidos en cada pesada quincenal del sistema acuapónico de recirculación durante 42 días, se pesaron en conjunto el 100% de los peces.

Tabla 14. Variables productivas del crecimiento de la tilapia

Pesada	Biomasa (gramos)	Alimento consumido (gramos)	Peso ganado (gramos)	Nº de peces	CA	GMD (gramos/día)
1	112	-	0	23	-	-
2 (14*)	143	154	31	23	4.96	0.096
3 (14*)	178	210	35	23	6.00	0.108
4 (14*)	215	238	37	23	6.43	0,114

*Días transcurridos

En la tabla 14 se observa que el Índice de Conversión Alimenticia (CA) obtuvo un valor máximo en la última quincena de 6.43 y una mínima de 4.96 en la primera quincena de evaluación. Estos valores son altos en proporción de la alimentación consumida con el peso ganado por pez.

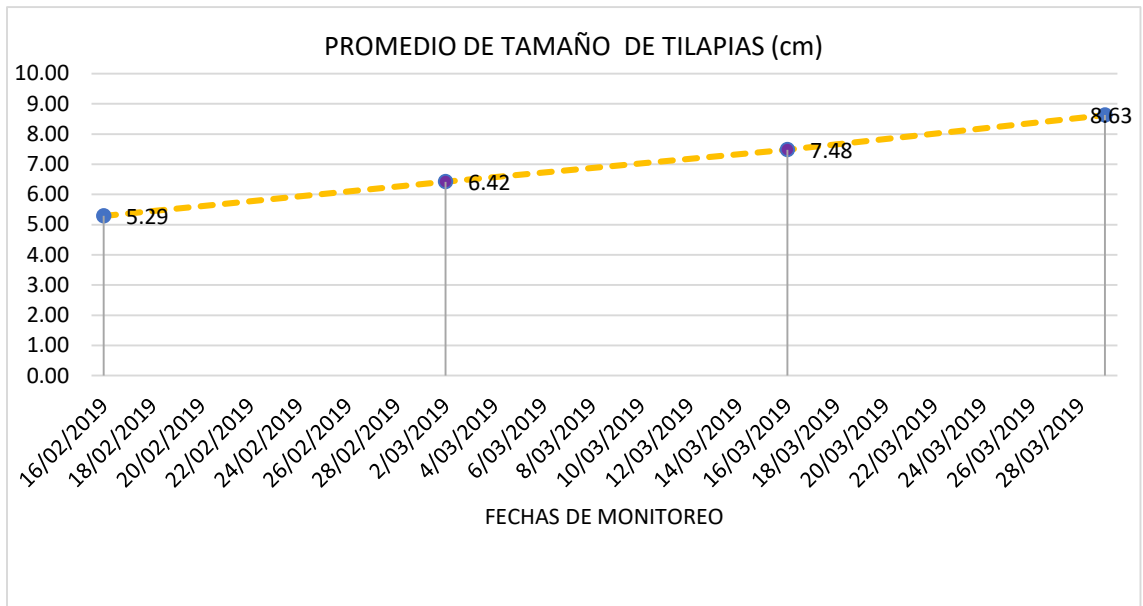
Se obtuvo una Tasa de Crecimiento Específica (TCE) de 1.55 %/día y una Tasa de Crecimiento Absoluta de (TCA) de 0.11 gramos/día.

Tamaño de las tilapias

La tabla 15 muestra la evolución del tamaño de las tilapias, estas fueron medidas individualmente y cada quince días, obteniendo en la primera quincena de evaluación un aumento de tamaño en promedio de 1.13 cm, en la segunda quincena; de 2.19 cm y al final de la evaluación se obtuvo un aumento en 3.34 cm con respecto al tamaño inicial.

Tabla 15. Evolución del crecimiento promedio (cm) de las tilapias

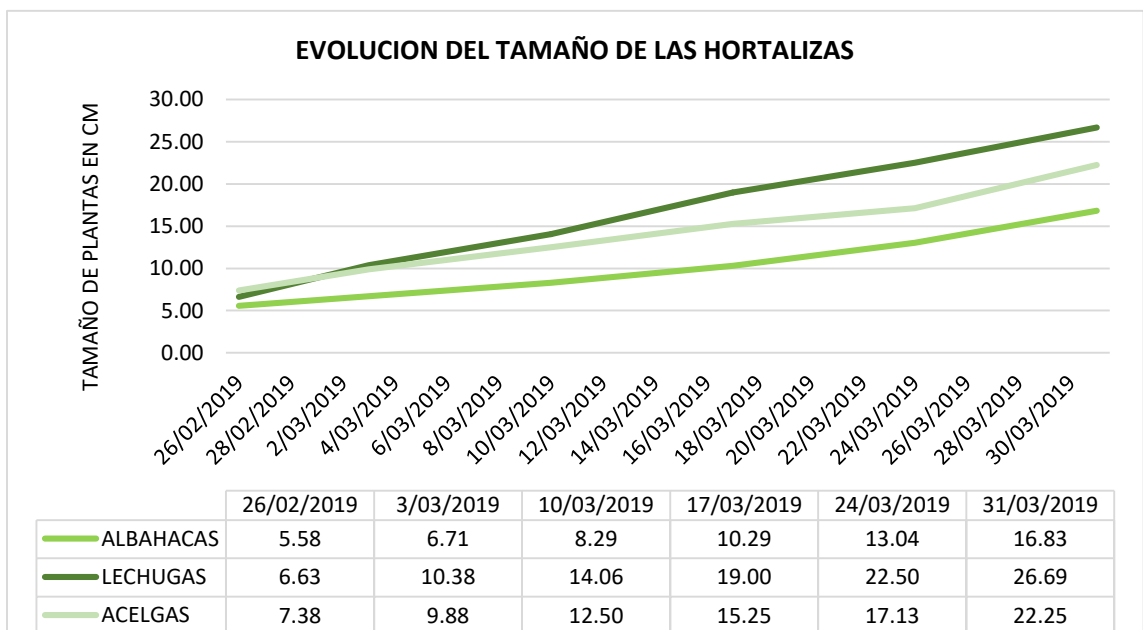
Medición	Promedio de talla
1	5.29
2	6.42
3	7.48
4	8.63



Grafica 1. Evolución del tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación

Crecimiento de plantas

A continuación, se mostrará la siguiente gráfica de evolución del crecimiento de los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* var. *Intybasea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) utilizadas en el sistema acuapónico de recirculación:



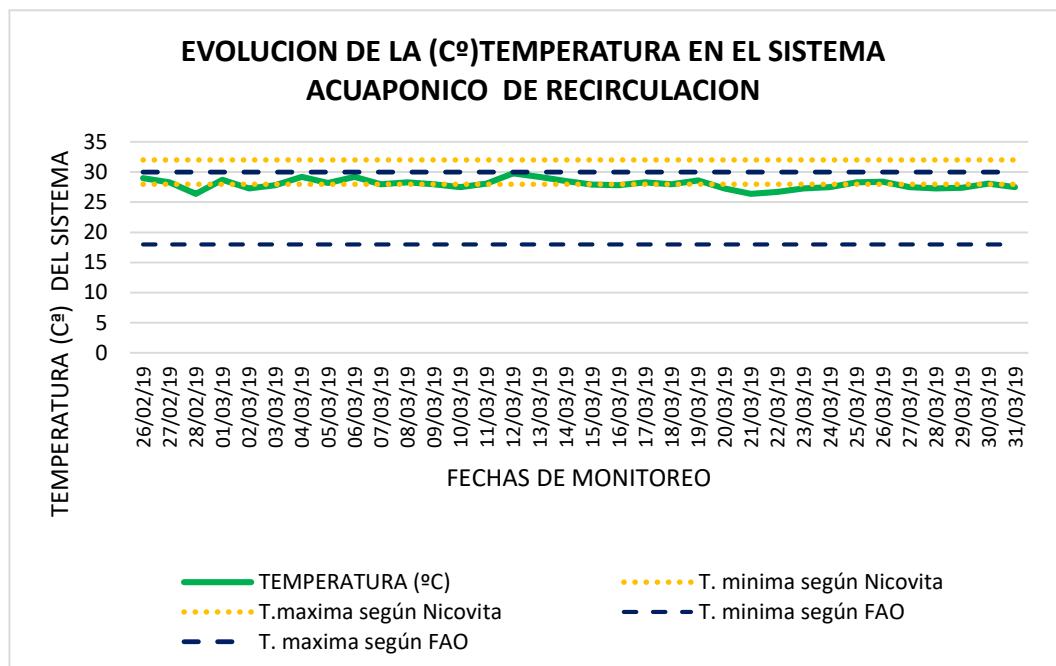
Grafica 2. Evolución del tamaño de las hortalizas en el sistema acuapónico de recirculación

En la gráfica 2 se observa el crecimiento de las plantas en el sistema, en cuanto a la albahaca se obtuvo una altura máxima de 23 cm, para la acelga; 25.5 cm como altura máxima y en el caso de la lechuga se observó una altura máxima de 29 cm, esto debido al crecimiento del tallo por la insuficiencia de luz solar, según Candarle el rango de temperatura para el cultivo de lechuga esta entre 15 y 22°C, en nuestro sistema piloto la temperatura era superior, como se mostrara en el siguiente grafico a continuación.

Temperatura y pH

En cuanto al monitoreo de la calidad de agua, se hizo el seguimiento diario de la temperatura y pH, debido a la sensibilidad del sistema en cuanto a estos parámetros, los valores de los parámetros se pueden observar en el *Anexo N°6 Tablas de los valores de pH y temperatura del sistema acuapónico de recirculación*, un cambio repentino en los valores de estos parámetros hubiera traído como consecuencia la alteración de la productividad.

En el siguiente grafico se muestra la evolución diaria de la temperatura en el Sistema Acuapónico de Recirculación.



Grafica 3. Evolución de la temperatura Cº en el sistema acuapónico de recirculación

El rango óptimo de temperatura para Sistemas Acuapónicos fluctúa entre los 18 y 30 °C según FAO (2015), mientras que el rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28°C y 32°C según Nicovita (2002), durante toda la investigación se buscó obtener una temperatura que fluctuó en esos rangos. Como se aprecia en la gráfica se obtuvo una temperatura mayor de 29,8 °C y una mínima de 26,3°C, la temperatura mínima se obtuvo en la primera semana de instalado el sistema.

Análisis del crecimiento de las hortalizas y Temperatura en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las lechugas empleadas con el comportamiento de la temperatura en el sistema acuapónico de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

Tabla 16. Valores de Temperatura y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación

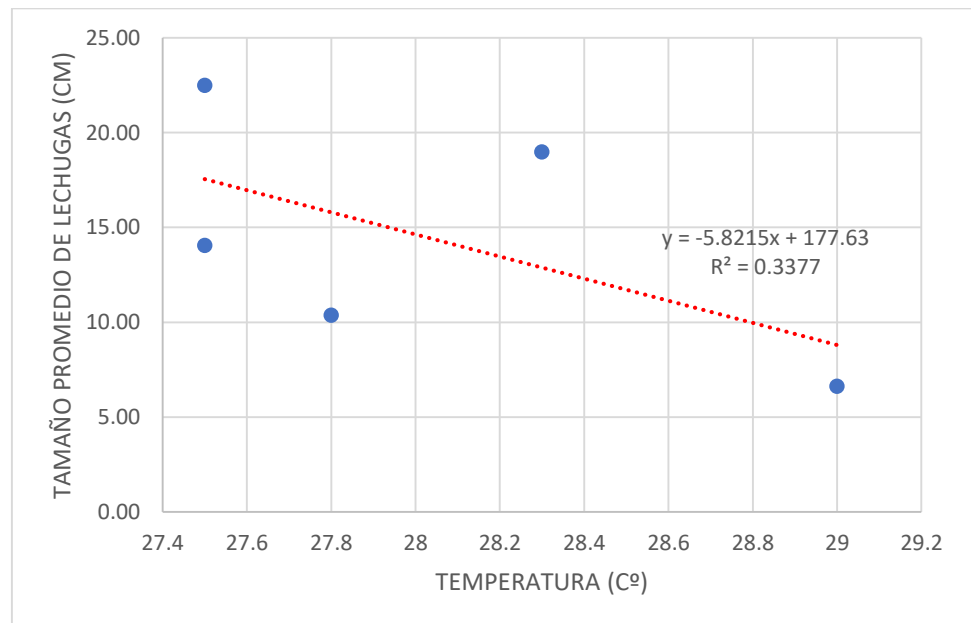
FECHA	TEMPERATURA (°C) X	TAMAÑO PROMEDIO DE LAS LECHUGAS (CM) Y	x*x	y*y	x*y
26/02/19	29	6.63	841	43.96	192.27
03/03/19	27.8	10.38	772.84	107.74	288.56
10/03/19	27.5	14.06	756.25	197.68	386.65
17/03/19	28.3	19.00	800.89	361.00	537.70
24/03/19	27.5	22.50	756.25	506.25	618.75
	140.10	72.57	3927.23	1216.63	2023.93

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

<i>Coefficiente de correlación lineal (r)</i>	-0.58
<i>Coefficiente de determinación (r²)</i>	0.34
<i>Covarianza (Sxy)</i>	-1.90

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de -0.58, es decir se presenta una moderada correlación negativa indirecta entre la temperatura y el tamaño promedio de las lechugas empleadas en el sistema acuapónico. El 34% de la variabilidad del tamaño promedio de las hortalizas depende o es explicado por la temperatura del sistema acuapónico.

La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 4. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las albahacas empleadas con el comportamiento de la temperatura en el sistema acuapónico de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

Tabla 17. Valores de Temperatura y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación

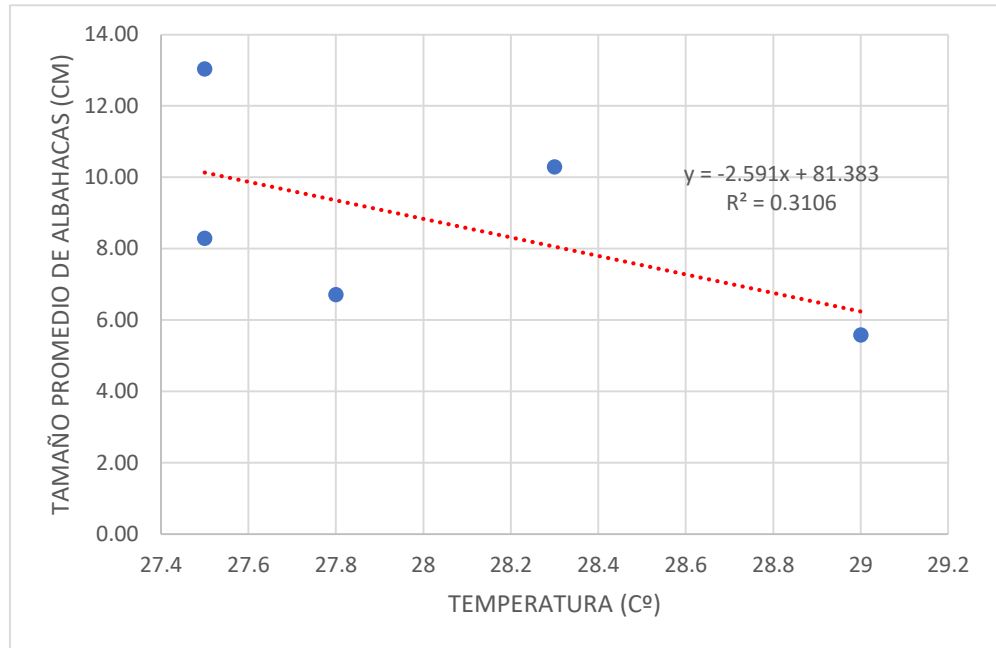
FECHA	TEMPERATURA (°C) X	TAMAÑO PROMEDIO DE LAS ALBAHACAS (CM) Y	x*x	y*y	x*y
26/02/19	29	5.58	841	31.14	161.82
03/03/19	27.8	6.71	772.84	45.02	186.54
10/03/19	27.5	8.29	756.25	68.72	227.98
17/03/19	28.3	10.29	800.89	105.88	291.21
24/03/19	27.5	13.04	756.25	170.04	358.60
	140.10	43.91	3927.23	420.81	1226.14

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

<i>Coefficiente de correlación lineal (r)</i>	-0.56
<i>Coefficiente de determinación (r²)</i>	0.31
<i>Covarianza (Sxy)</i>	-0.84

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de -0.56, es decir se presenta una moderada correlación negativa indirecta entre la temperatura y el tamaño promedio de las albahacas empleadas en el sistema acuapónico. El 31% de la variabilidad del tamaño promedio de las albahacas depende o es explicado por la temperatura del sistema acuapónico.

La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 5. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las acelgas empleadas con el comportamiento de la temperatura en el sistema acuapónico de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

Tabla 18. Valores de Temperatura y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación

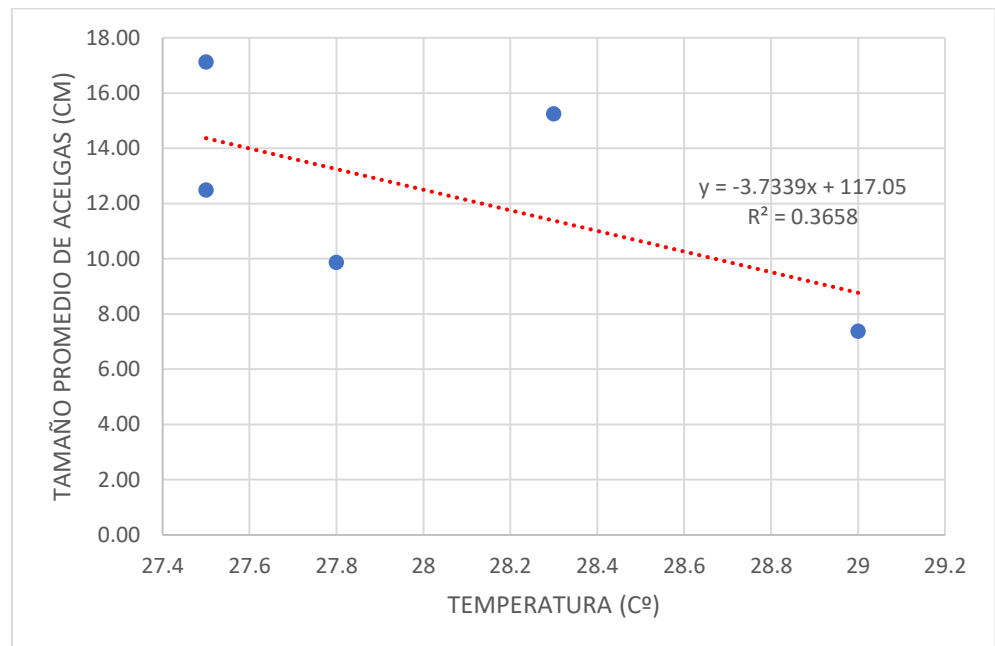
FECHA	TEMPERATURA (°C) X	TAMAÑO PROMEDIO DE LAS ACELGAS (CM) Y	x*x	y*y	x*y
26/02/19	29	7.38	841	54.46	214.02
03/03/19	27.8	9.88	772.84	97.61	274.66
10/03/19	27.5	12.50	756.25	156.25	343.75
17/03/19	28.3	15.25	800.89	232.56	431.58
24/03/19	27.5	17.13	756.25	293.44	471.08
	140.10	62.1	3927.2	834.3	1735.1

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

<i>Coefficiente de correlación lineal (r)</i>	-0.60
<i>Coefficiente de determinación (r²)</i>	0.37
<i>Covarianza (Sxy)</i>	-1.22

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de -0.60, es decir se presenta una moderada correlación negativa indirecta entre la temperatura y el tamaño promedio de las acelgas empleadas en el sistema acuapónico. El 37% de la variabilidad del tamaño promedio de las acelgas depende o es explicado por la temperatura del sistema acuapónico.

La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 6. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación

Análisis del crecimiento de las tilapias y la Temperatura en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las tilapias y el comportamiento de la temperatura en el sistema acuapónico de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

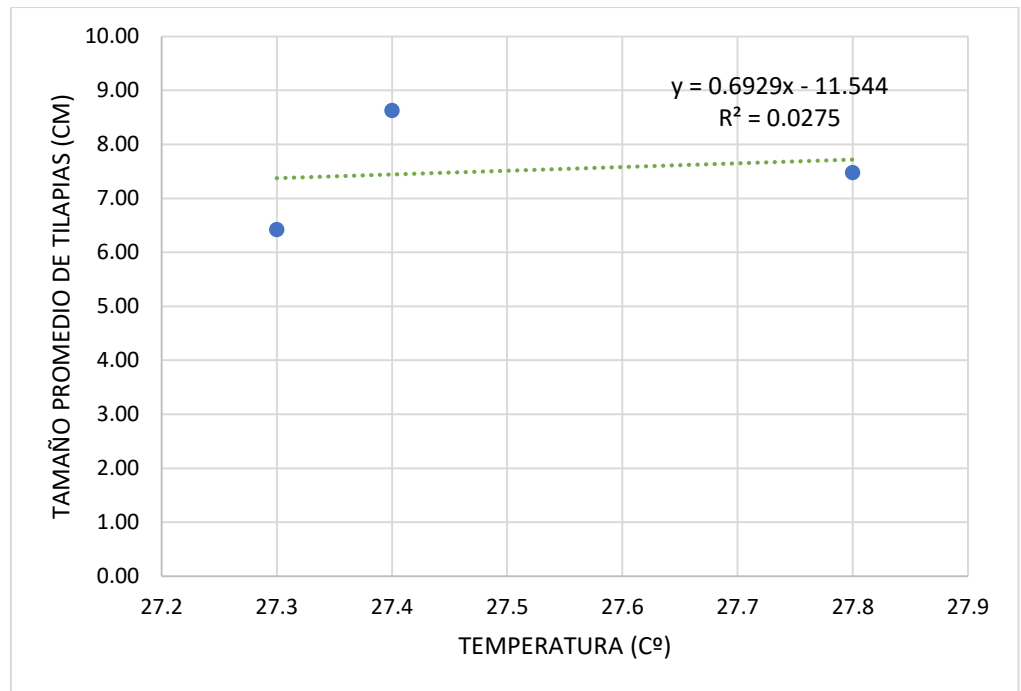
Tabla 19. Valores de Temperatura y tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación

FECHA	TEMPERATURA (C ^a)	TAMAÑO PROMEDIO DE TILAPIAS (CM)	x*x	y*y	x*y
02/03/19	27.3	6.42	745.29	41.2164	175.266
16/03/19	27.8	7.48	772.84	55.9504	207.944
29/03/19	27.4	8.63	750.76	74.4769	236.462
	82.5	22.53	2268.89	171.6437	619.672

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

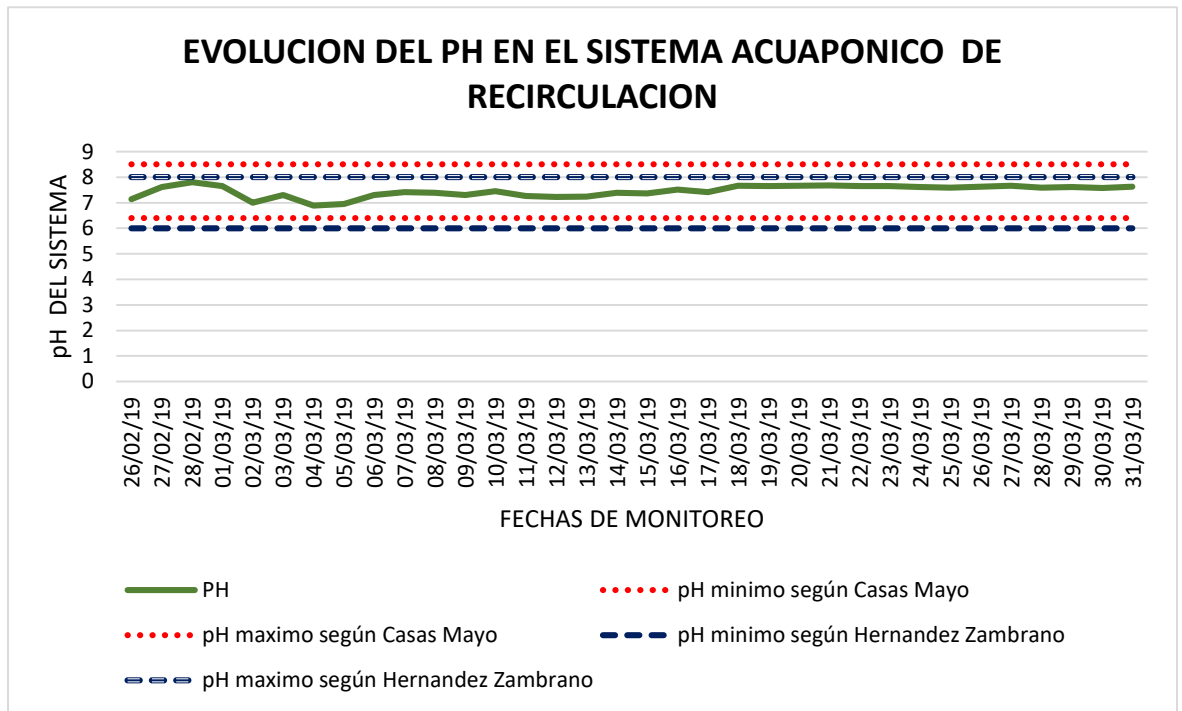
Coefficiente de correlacion lineal (r)	0.17
Coefficiente de determinación (r²)	0.03
Covarianza (Sxy)	0.03

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0.17, es decir se presenta una débil correlación positiva directa entre la temperatura y el tamaño promedio de las tilapias empleadas en el sistema acuapónico. El 3% de la variabilidad del tamaño promedio de las tilapias depende o es explicado por la temperatura del sistema acuapónico. La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 7. Dispersión de la temperatura y tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación

En cuanto al comportamiento del pH diario en el sistema acuapónico de recirculación, los valores oscilaron entre 6.89 y 7.91. Se tuvo mucho cuidado con este parámetro, valores de pH ácido afecta directamente el crecimiento de los peces ya que disminuye el consumo de alimento. Los valores obtenidos se muestran en el siguiente gráfico:



Grafica 8. Evolución del pH en el sistema acuapónico de recirculación

El rango más adecuado para las actividades acuícolas se ubica entre 6,4 – 8,5 según Casas Mayo (2008) y según lo descrito por Hernández Zambrano (2017), el valor de pH para el crecimiento de las tilapias oscila entre 6 – 8. De acuerdo a los valores diarios obtenido del comportamiento del pH en el prototipo estaban dentro de los rangos establecidos por los autores antes descritos, sin embargo, en las primeras semanas de la evaluación se observa una variación más notable de los valores de pH, esto debido al recambio de agua que se hizo para reponer el descenso del nivel de agua en el tanque de peces producida por la evaporación por las altas temperaturas.

Análisis del crecimiento de las hortalizas y pH en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las lechugas con el comportamiento del pH en el sistema acuapónico

de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

Tabla 20. Valores de pH y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación

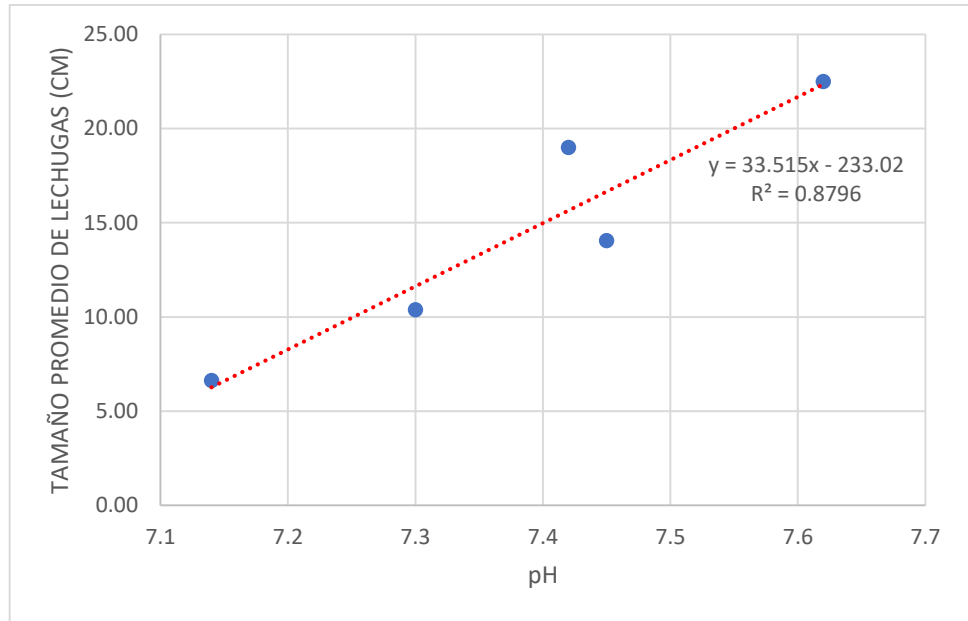
FECHA	PH X	TAMAÑO PROMEDIO DE LAS LECHUGAS (CM) Y	x*x	y*y	x*y
26/02/19	7.14	6.63	50.9796	43.96	47.34
03/03/19	7.3	10.38	53.29	107.74	75.77
10/03/19	7.45	14.06	55.5025	197.68	104.75
17/03/19	7.42	19.00	55.0564	361.00	140.98
24/03/19	7.62	22.50	58.0644	506.25	171.45
	36.93	72.57	272.89	1216.63	540.29

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

<i>Coefficiente de correlación lineal (r)</i>	0.94
<i>Coefficiente de determinación (r²)</i>	0.88
<i>Covarianza (Sxy)</i>	0.86

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0.94, es decir se tiene una alta correlación positiva directa entre el pH y el tamaño promedio de las lechugas empleadas en el sistema acuapónico. El 88% de la variabilidad del tamaño promedio de las lechugas depende o es explicado por el pH del sistema acuapónico.

La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 9. Dispersión de la pH y tamaño promedio de lechugas en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las albahacas con el comportamiento del pH en el sistema acuapónico de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

Tabla 21. Valores de pH y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación

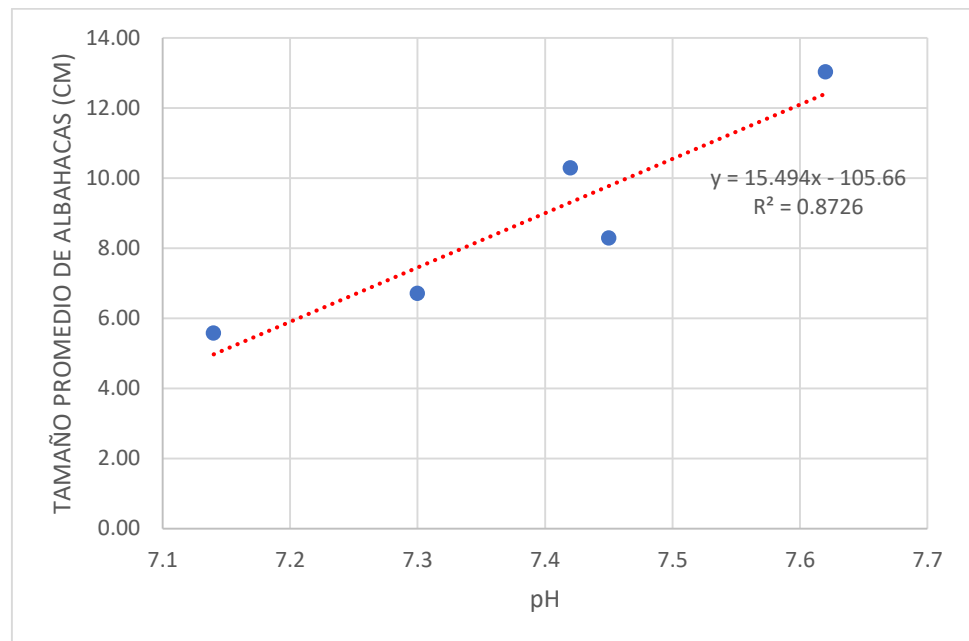
FECHA	PH X	TAMAÑO PROMEDIO DE LAS ALBAHACAS (CM) Y	x*x	y*y	x*y
26/02/19	7.14	5.58	50.98	31.14	39.84
03/03/19	7.3	6.71	53.29	45.02	48.98
10/03/19	7.45	8.29	55.50	68.72	61.76
17/03/19	7.42	10.29	55.06	105.88	76.35
24/03/19	7.62	13.04	58.06	170.04	99.36
	36.93	43.91	272.89	420.81	326.30

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

<i>Coefficiente de correlación lineal (r)</i>	0.93
<i>Coefficiente de determinación (r²)</i>	0.87
<i>Covarianza (S_{xy})</i>	0.40

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0.93, es decir se tiene una alta correlación positiva directa entre el pH y el tamaño promedio de las lechugas empleadas en el sistema acuapónico. El 87% de la variabilidad del tamaño promedio de las lechugas depende o es explicado por el pH del sistema acuapónico.

La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 10. Dispersión de la pH y tamaño promedio de albahacas en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las acelgas con el comportamiento del pH en el sistema acuapónico de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

Tabla 22. Valores de pH y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación

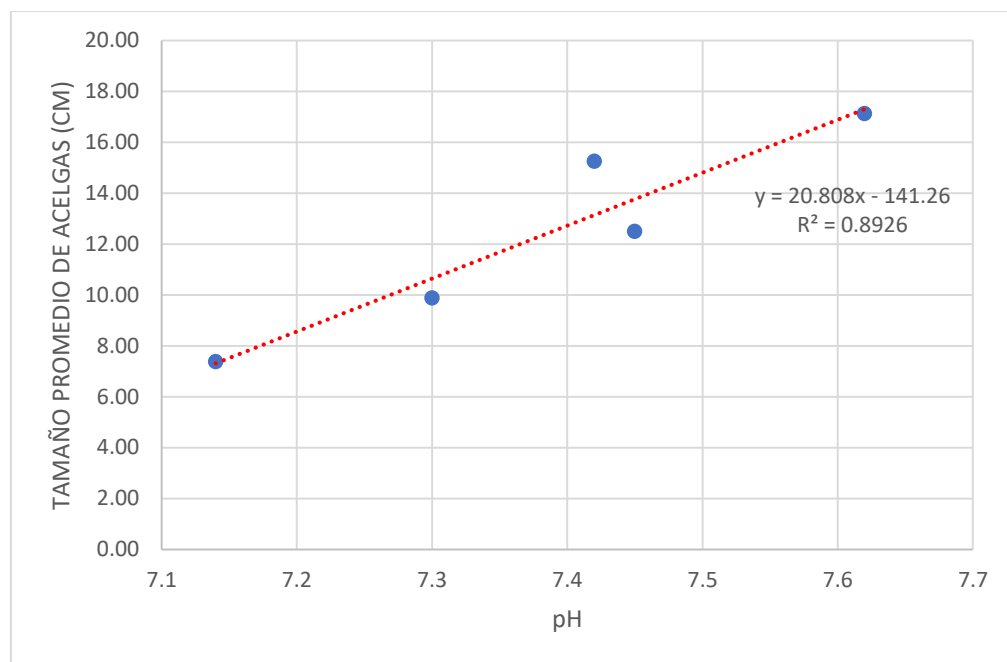
FECHA	PH X	TAMAÑO PROMEDIO DE LAS ACELGAS (CM) Y	x*x	y*y	x*y
26/02/19	7.14	7.38	50.98	54.46	52.69
03/03/19	7.3	9.88	53.29	97.61	72.12
10/03/19	7.45	12.50	55.50	156.25	93.13
17/03/19	7.42	15.25	55.06	232.56	113.16
24/03/19	7.62	17.13	58.06	293.44	130.53
	36.93	62.14	272.89	834.33	461.63

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

Coefficiente de correlación lineal (r)	0.94
Coefficiente de determinación (r²)	0.89
Covarianza (Sxy)	0.53

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0.94, es decir se tiene una alta correlación positiva directa entre el pH y el tamaño promedio de las acelgas empleadas en el sistema acuapónico. El 89% de la variabilidad del tamaño promedio de las acelgas depende o es explicado por el pH del sistema acuapónico.

La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 11. Dispersión de la pH y tamaño promedio de acelgas en el sistema acuapónico de recirculación

Análisis del crecimiento de las tilapias y pH en el sistema acuapónico de recirculación

Para evaluar la relación entre el tamaño promedio de las tilapias con el comportamiento del pH en el sistema acuapónico de recirculación, se utilizó la correlación de estas dos variables, como se detalla a continuación en el siguiente análisis.

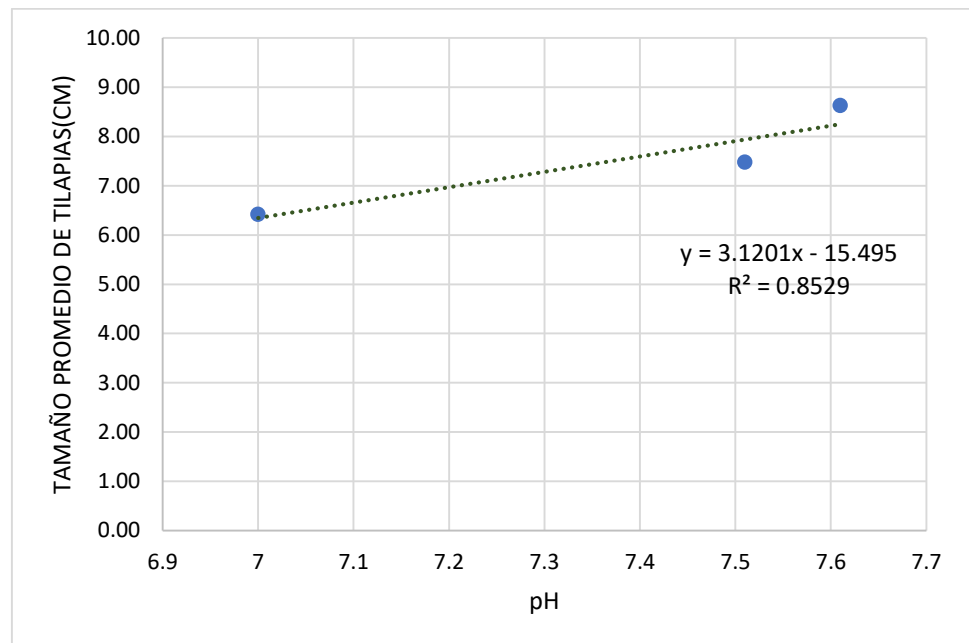
Tabla 23. Valores de pH y tamaño promedio de tilapias en el sistema acuapónico de recirculación

FECHA	Ph	Tamaño promedio de tilapias (cm)	x*x	y*y	x*y
02/03/19	7	6.42	49	41.2164	44.94
16/03/19	7.51	7.48	56.4001	55.9504	56.1748
29/03/19	7.61	8.63	57.9121	74.4769	65.6743
	22.12	22.53	163.3122	171.6437	166.7891

De acuerdo al análisis estadístico realizado mediante el software Microsoft Excel, se obtuvieron los siguientes parámetros:

Coefficiente de correlación lineal (r)	0.92
Coefficiente de determinación (r^2)	0.85
Covarianza (S_{xy})	0.22

Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0.92, es decir se tiene una alta correlación positiva directa entre el pH y el tamaño promedio de las tilapias empleadas en el sistema acuapónico. El 85% de la variabilidad del tamaño promedio de las tilapias depende o es explicado por el pH del sistema acuapónico. La dispersión lineal de las variables se observa en el siguiente gráfico:



Grafica 12. Dispersión del pH y tamaño promedio de las tilapias en el sistema acuapónico de recirculación

Parámetros de Oxígeno y Compuestos Nitrogenados

Los parámetros de Oxígeno Disuelto, concentración de compuestos nitrogenados fueron monitoreados en dos puntos

diferentes del prototipo del sistema acuapónico de recirculación como se muestran en las tablas 24 y 25.

*Tabla 24.
Resultados de los parámetros del primer punto evaluados en laboratorio.*

Resultados de los parámetros evaluados en laboratorio del primer punto Entrada de la cama de cultivo(salida del decantador)		
PARAMETRO	UND	VALOR
Concentración de nitrito	mg/L	<0.005
Concentración de Nitrato	mg/L	0.512
Concentración de Amoniaco	mg/L	0.061
pH	unidades de pH	7.84
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.20
Presencia de Parásitos, protozoarios y quistes	Nº de organismos/100 ml	No hubo presencia

Fuente: ITS-Inspection & Testing Services del Peru SAC

En la tabla 25 se describen los parámetros que se tomaron para la evaluación del segundo punto a la salida de la cama de cultivo de hortalizas.

*Tabla 25.
Resultados de los parámetros del segundo punto evaluados en laboratorio.*

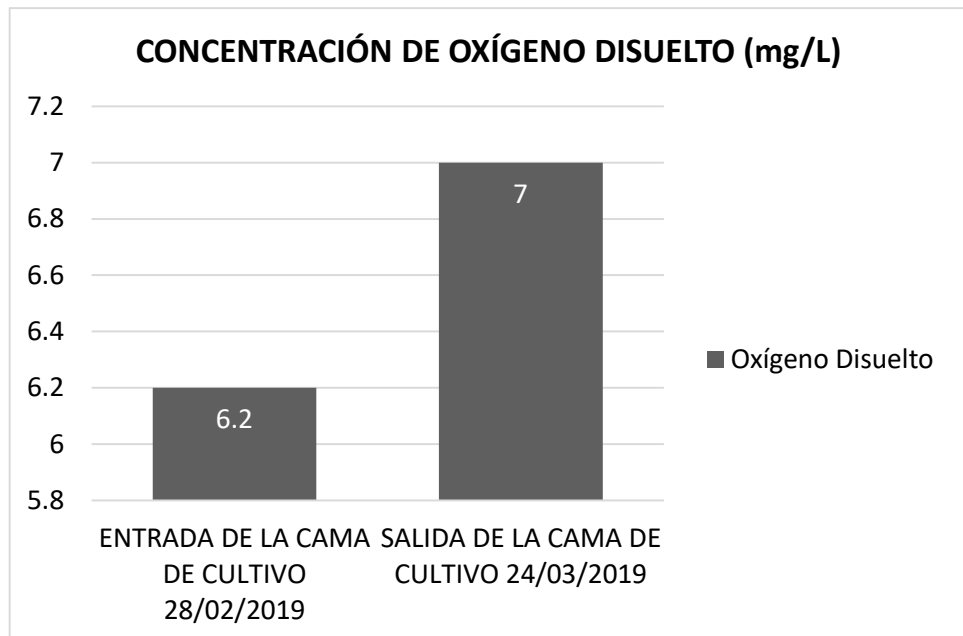
Resultados de los parámetros evaluados en laboratorio del segundo punto Salida de la cama de cultivo		
PARAMETRO	UND	VALOR
Concentración de nitrito	mg/L	<0.005
Concentración de Nitrato	mg/L	0.11
Concentración de Amoniaco	mg/L	0.043
Ph	unidades de Ph	7.68
Oxígeno Disuelto	mg/L	7
Turbidez	NTU	5

Fuente: ITS-Inspection & Testing Services del Perú SAC

Oxígeno disuelto

En el primer punto de muestreo se obtuvo un valor de 6,2 mg/L (Ver anexo N°7) y en el segundo punto se obtuvo 7 mg/L (Ver anexo N°8). En el sistema acuapónico de recirculación no se observó el "boqueo" por parte de los peces, comportamiento directo que evidencia la falta de oxigenación en el agua, en todo momento la oxigenación era producida por la caída de agua de la cama de cultivo de hortalizas al tanque de peces de manera constante, lo que garantizó la buena oxigenación del sistema.

Caló (2011) establece que los niveles de OD deben ser superiores a 3 mg/L para que el sistema tenga un buen funcionamiento, pero la concentración idónea debe ser mayor o igual a 5 mg/L según Gilsanz (2007), por lo antes expuesto, los valores obtenidos estuvieron dentro de los rangos óptimos tanto para las plantas como para los peces.

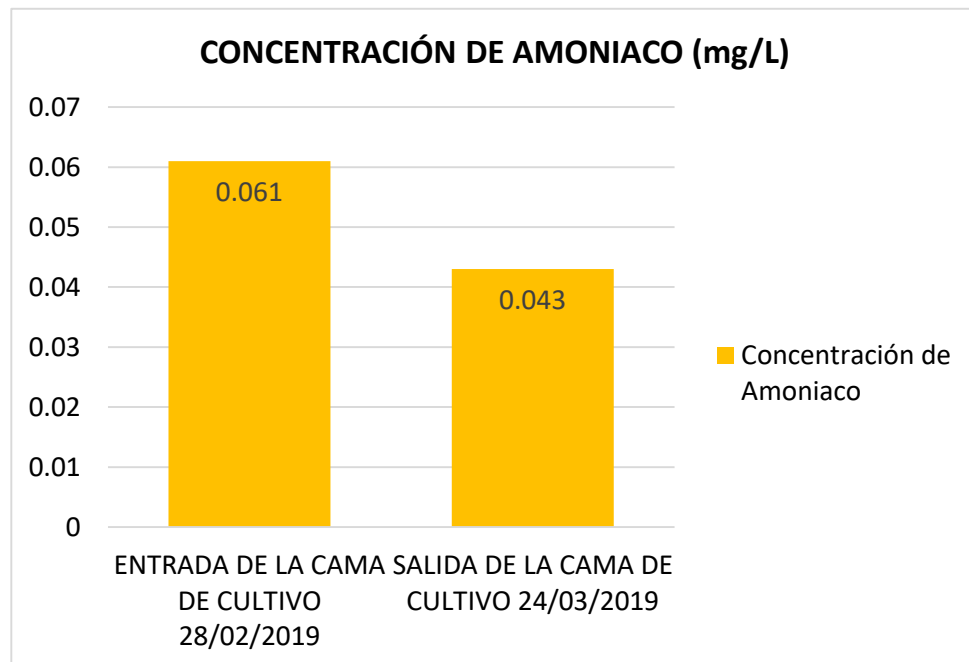


Grafica 13. Concentración de Oxígeno disuelto (mg/L) en el Sistema Acuapónico de recirculación

Amoniaco

El amoniaco se evaluó de la misma manera que el oxígeno disuelto, en el primer punto se obtuvo un valor de 0,061 mg/L y en el segundo; 0,043 mg/L., como se muestra en el gráfico N° 14, se obtuvo una reducción del 29.5% en el prototipo lo cual indica la tolerancia de la tilapia a este compuesto nitrogenado. Esta diferencia de valores se debe al proceso de nitrificación, es decir la conversión del amoniaco en nitritos y luego a nitratos hechas por las bacterias nitrificantes.

Con el aumento de la biomasa en el sistema y el alimento no consumido por los peces, la concentración del amoniaco se eleva, pudiendo producir alteraciones en el desarrollo del cultivo de peces, pero esto no ocurrió debido al cuidado y seguimiento que se hizo con respecto a la alimentación y crecimiento de los peces.



Grafica 14. Concentración de amoniaco (mg/L) en el sistema acuapónico de recirculación

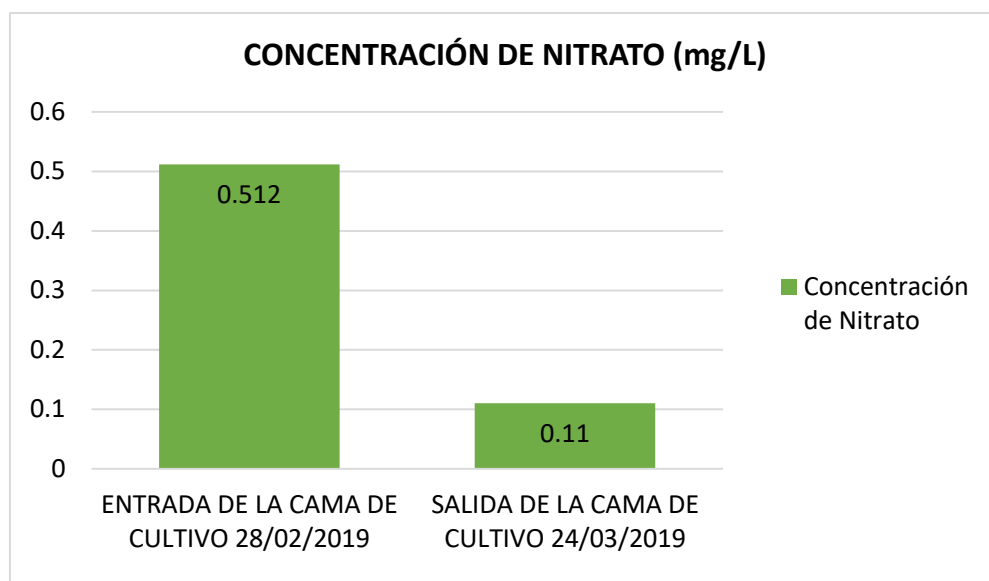
Nitritos y nitratos

En la gráfica N°15 se muestran los valores de nitratos obtenidos en el monitoreo, se obtuvo una reducción del 78.5% en el prototipo, esta reducción se puede explicar mediante la pérdida de nitrato que tiene el sistema en la atmósfera a través de la gasificación, además el nitrato es el parámetro asimilable por las raíces siendo absorbida por las plantas para la síntesis de proteínas y contribuir con el aumento de la biomasa en la cama de cultivo de hortalizas.

Así mismo concentraciones entre 0 a 40 mg/L son aceptables para los peces, pero cualquier valor superior a los 80 mg/L puede ser tóxico, por ende, según Bautista Covarrubias & Ruiz Velazco Arce, (2011) es necesario mantener la concentración por debajo de 1 ppm.

Las concentraciones que se obtuvieron en el primer y segundo punto de muestreo fueron 0.512mg/L y 0.11mg/L respectivamente, valores que cumplen con lo anterior descrito.

Por su parte los nitritos en concentraciones mayores a 0.75mg/L pueden provocar estrés en los peces y mayor a 5 mg/L pueden ser tóxicos, en el sistema se mantuvo con concentraciones menor a 0.005mg/L (*Ver anexo N°7 y N°8*).



Grafica 15. Concentración de nitrato (mg/L) en el sistema acuapónico de recirculación

CONCLUSIONES

- La influencia de los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) en el sistema acuapónico de recirculación para el tratamiento de agua fue capaz de mejorar los parámetros para su reutilización en la crianza de tilapias (*Oreochromis Niloticus*).
- Los niveles de los parámetros de pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, nitritos, nitratos y amoníaco del agua de sistema acuapónico de recirculación tratado con cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) se mantuvieron en el rango de aceptación, tanto al inicio como al final de la investigación, para su reutilización en la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*), estos valores son expresados en tablas y gráficos en la presente investigación.
- En cuanto al crecimiento de los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*) en el sistema acuapónico de recirculación de aguas residuales provenientes de la crianza de tilapias (*Oreochromis niloticus*), obtuvieron un tamaño óptimo para el tiempo de evaluación, siendo la ganancia de tamaño final promedio de la investigación 20,06 cm para la lechuga, 11,25 cm para las albahacas y 14,88 para las acelgas; sin embargo, en el cultivo de la lechuga se logró el crecimiento en tamaño mas no en volumen. De acuerdo al análisis realizado al crecimiento de las hortalizas empleadas en el sistema acuapónico de recirculación para el tratamiento de agua, se tuvo una relación directa con el Ph del sistema y una relación inversa con la temperatura.
- En cuanto al crecimiento de las tilapias se logró una ganancia de peso promedio de 4,48 gramos/pez y un promedio de talla de 8,63 cm/pez en el sistema acuapónico de recirculación con aguas tratadas con cultivos de lechuga (*Lactuca sativa var. Intybacea*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*), siendo estos valores representados en tablas. De acuerdo al análisis realizado al crecimiento de las tilapias empleadas en el sistema acuapónico de recirculación, se tuvo una relación directa con el pH del sistema y con la temperatura.

RECOMENDACIONES

- Monitorear de forma regular la calidad del agua para el cultivo de peces mediante la medición de parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, y concentración de oxígeno disuelto, amonio, nitritos, nitratos y fosfatos para la obtención de productos de buena calidad para consumo humano.
- Inocular con bacterias nitrificantes en los sistemas nuevos si es que se desea obtener las óptimas condiciones y la proliferación de las bacterias en tiempos más cortos de una a dos semanas, para el cultivo de las plantas.
- Contar con un filtro mecánico (decantador/sedimentador) de tal manera que asegure la detención de los sólidos suspendidos y evite que se acumulen en el sustrato inerte de la cama de cultivo y sea más fácil la limpieza del sistema.
- Realizar un estudio de los costos/beneficios para la instalación de prototipos de sistemas acuapónicos en centros acuícolas, ya que con el avance del sistema se obtienen producciones de peces, cultivos y ahorro de agua.
- Fomentar el desarrollo de nuevas investigaciones para obtener mayores conocimientos al establecer nuevos cultivos, nuevas opciones y se promueva la innovación de tecnologías amigables con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

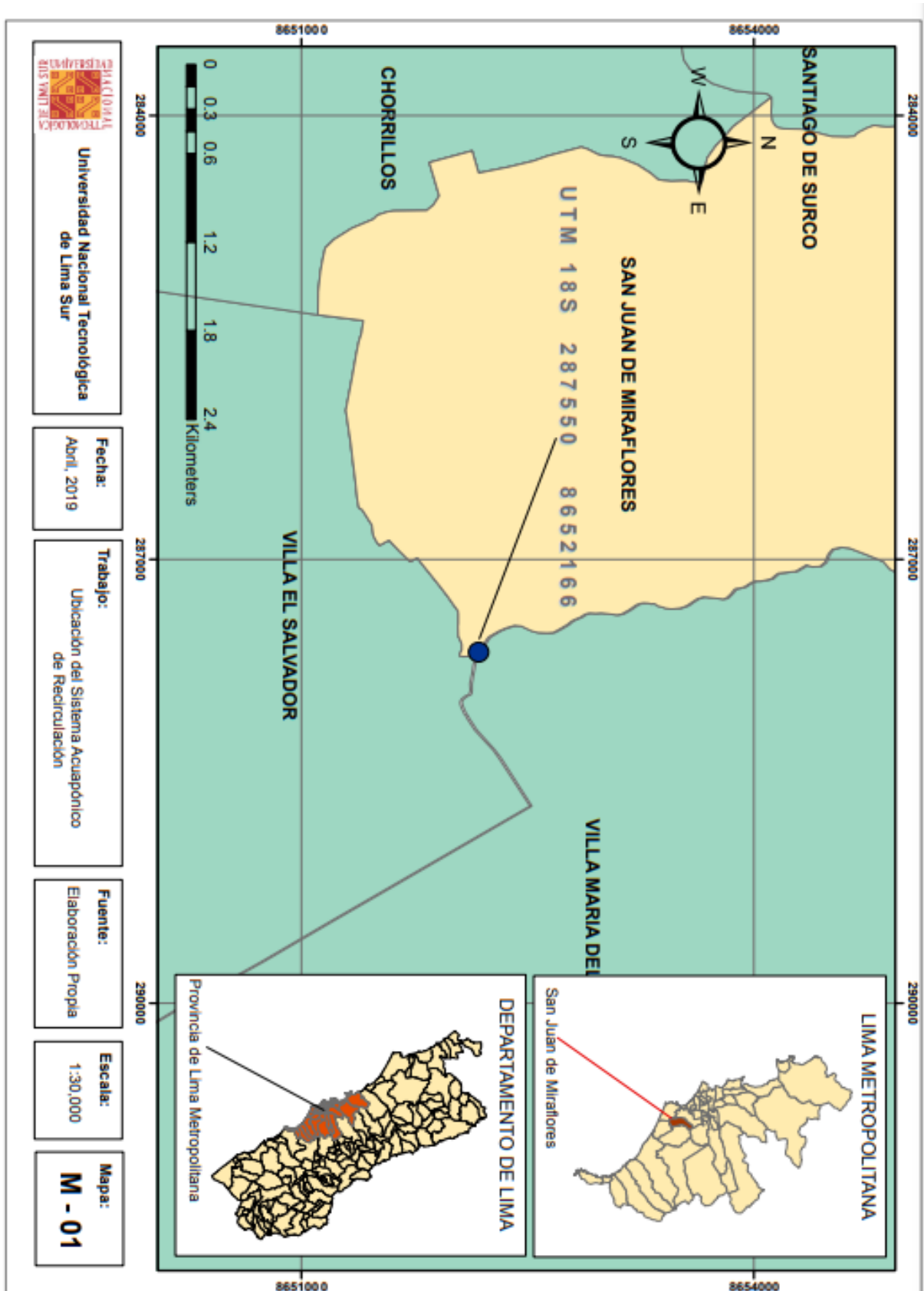
- Alcocer Palma, M. J. (Mayo de 2017). Diseño y construcción de dos sistemas acuapónicos horizontales para la producción conjunta de peces dorados y lechugas. Sevilla.
- Mendoza Ramírez , D., Castañeda Franco, M., & Baltazar Guerrero, P. (Setiembre de 2018). *Www.was.org*. Obtenido de Tilapia Potential in Peru: https://www.researchgate.net/publication/328887766_Tilapia_Potential_in_Peru
- Baltazar, P. M. (2007). La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. Centro de Acuicultura Tambo de Mora, Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES).
- Bañuelo Jáuregui, J. (2017). Acuaponia: Parámetros básicos de diseño. Mexico.
- Bautista Covarrubias, J. C., & Ruiz Velazco Arce, J. M. (Julio - Septiembre de 2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Dirección de Fortalecimiento a la Investigación, Universidad Autónoma de Nayarit*. México: Revista Fuente Año 3 No. 8.
- Bustamante, A. (s.f). Acuaponia: Sistema de Producción Integrado. *Curso internacional Actualización de poscosecha y procesamiento de productos hortifrutícolas*. Chile.
- Caló, P. (2011). Introducción a la Acuaponia.
- Candarle, P. (s.f). Técnicas de Acuaponia. *Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de Acuicultura*.
- Carrillo, D. M. (Noviembre de 2015). Diseño de un sistema acuapónico en la Unidad de Agricultura Orgánica, Zamorano, Honduras. Honduras.
- Casas Mayo, D. (2008). Sistema de recirculación de agua para la cría intensiva de cachama blanca (*Piaractus Brachypomus*). Cabudare.

- Castillo, L. F. (2006). Tilapia roja 2006 :Una evolucion de 25 años, de la incertidumbre al exito.
- FAO. (2011). Ayuda Humanitaria de Asistencia y Recuperación para Comunidades Afectadas por la Sequía en el Chaco. En FAO, *Produccion de Hortalizas*. Bolivia.
- FAO. (15 de agosto de 2015). Obtenido de Siete reglas básicas que hay que seguir en la acuaponía: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/325888/>
- FONDEPES. (s.f.). Manual de cultivo de Tilapia.
- Gilsanz, J. C. (2007). Hidroponia.
- Hernández Zambrano, L. F. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis Mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca Sativa*).
- Hurtado Totocayo, N. (2004). La tilapia en el Perú. Lima, Peru: NH Ingenieros Consultores.
- Hurtado Totocayo, N. (s.f). Tilapia: Alternativa social y económica del tercer milenio. Lima, Peru.
- Iturbide, K. (2008). Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. Guatemala.
- Jiménez Sáenz, A. J. (s.f). Sistemas de recirculación en acuicultura: una visión y retos diversos para Latinoamérica.
- Mariluz Fernandez, A. A. (2015). Evaluacion de los parametros productivos y de calidad de agua en el cultivo de tilapia *Oreochromis Niloticus* en sistemas de recirulacion cerrada en laboratorio. Callao, Peru.
- Moreno, S., & Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo*. Trujillo, Peru.

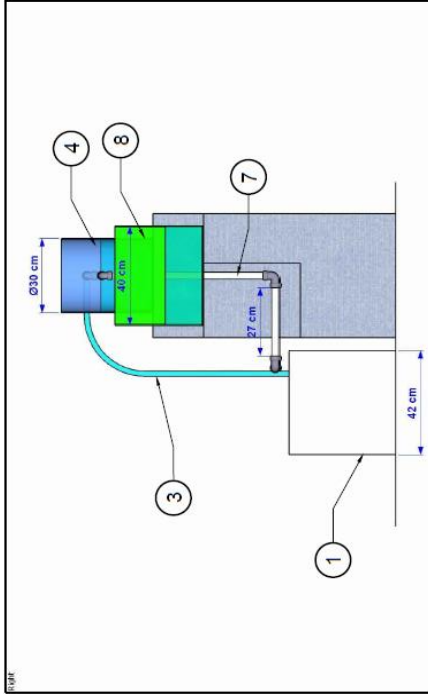
- Muñoz Gutiérrez, M. E. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador Técnico (Colombia) Edición 76*, p 123 - 129.
- Nicovita. (2002). Manual de crianza de tilapias. Lima, Peru.
- Pilco Vergaray, J. (2015). Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachypomus* "Paco" en un sistema acuapónico superintensivo, en el IESPPB, 2015. Yarinacocha.
- PRODUCE. (07 de Enero de 2010). *Plan Nacional de Desarrollo Acuícola*. Perú: Ministerio de la Producción. Obtenido de <https://www.produce.gob.pe/documentos/acuicultura/ds001-2010-produce.pdf>
- PRODUCE-AECI/PADESPA-FONDEPES. (2004). Manual de cultivo de tilapia.
- Rubio, S. G. (2012). Análisis técnico de la producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca Sativa* en acuaponía. México.
- Saavedra Del R., G. (2017). Manual de producción de lechuga. Santiago de Chile.
- Saavedra Martínez, M. A. (2016). Manejo del cultivo de Tilapia. Managua, Nicaragua.
- Sink, T. (s.f). ¿Que es Acuaponía? Extensión AgrilifeTexas A&M University.
- Universidad del Pacífico, & Ministerio de la Producción. (s.f). Crea tu empresa: Lechugas Hidroponicas. Lima, Peru.
- Vargas Adams, A. (2017). Uso de un Sistema de Recirculación Acuapónico para Conservar la Calidad del Agua en los Estanques de Producción de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la empresa Lima Vías Express, Chorrillos-Lima. Lima,Perú.

ANEXOS

ANEXO N°1. Ubicación del Sistema piloto Acuapónico de Recirculación.



ANEXO N°2. Plano del Sistema Piloto Acuapónico de Recirculación



VISTA LATERAL

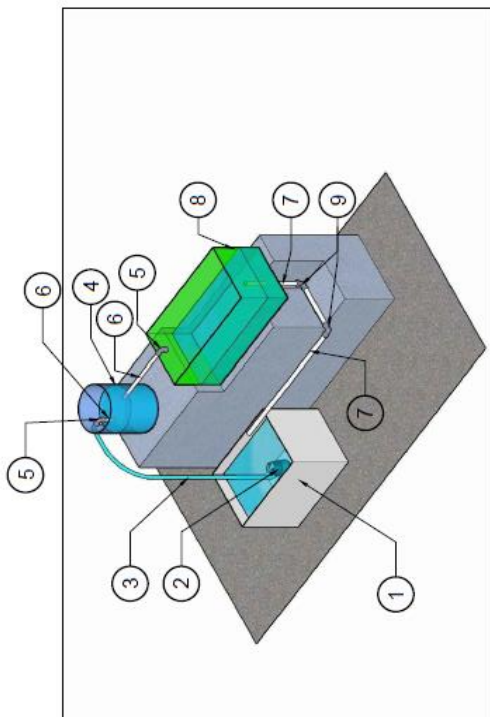
LEYENDA	
Nº	DESCRIPCION
1	CAMA DE CULTIVO DE PECES
2	BOMBA SUMERGIBLE DE AGUA
3	MANGUERA DE 2 cm DE Ø EXTERIOR
4	DECANTADOR
5	CODO DE PVC Ø 1/2"
6	TUBERIA DE PVC Ø 1/2"
7	TUBERIA DE PVC Ø 3/4"
8	CAMA DE CULTIVO DE HORTALIZAS
9	CODO DE PVC Ø 3/4"



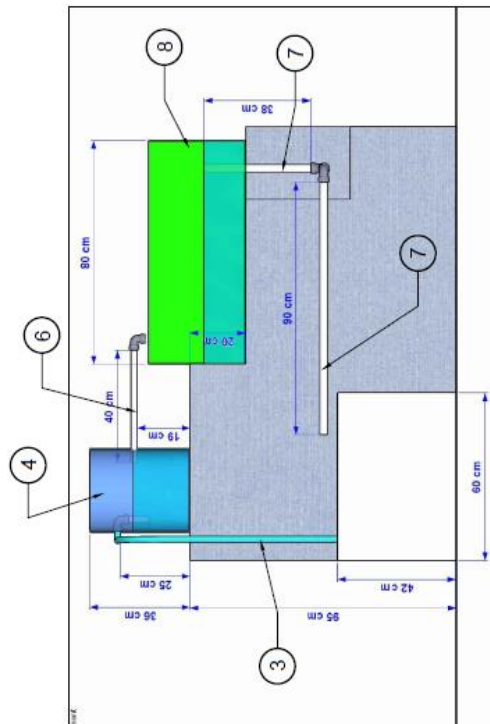
PROYECTO: Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la crianza de Tilapias (*Oreochromis niloticus*) a través del Sistema Acuapónico de Recirculación utilizando cultivos de Lechuga (*Lactuca Sativa* Var. *Intybatosa*), Albahaca (*Ocimum Basilicum*) y acelga (*Beta Vulgaris* Var. *Cicla*).

PROPIETARIA: DIANA LETICIA CASTAÑEDA VILLANUEVA
 UBICACION: Mz. D Lt. 12 - Asentamiento Humano Señor de Los Milagros.
 DISTRITO DE SAN JUAN DE MIRAFLORES

ESPECIALIDAD: INSTALACIONES SANITARIAS
 PLANO: SISTEMA PILOTO ACUAPONICO DE RECIRCULACION
 DIBUJO: D.L.C.V. REVISION: D.L.C.V. ESCALA: 1:500 FECHA: ABRIL 2019
 PLANO: IS-01 01 de 01 REGION: D



VISTA ISOMETRICA



VISTA FRONTAL

ANEXO N°3. Ficha de seguimiento de talla y peso de tilapias (*Oreochromis niloticus*) en el sistema acuapónico de recirculación.

FICHA DE SEGUIMIENTO DE TALLA Y PESO DE TILAPIAS (<i>Oreochromis niloticus</i>) EN EL SISTEMA ACUAPÓNICO DE RECIRCULACIÓN				
ESPECIE	Oreochromis niloticus			
PROCEDENCIA	CINPIS			
FECHA DE SIEMBRA	16/02/2019			
POBLACION	23 tilapias			
PECES	FECHAS DE EVALUACION			
	Talla (cm)			
	16/02/2019	2/03/2019	16/03/2019	29/03/2019
1	5	6,5	7,2	8,5
2	5	6,5	8	9,5
3	7,5	6,2	9,5	8
4	5	5,5	7	7,5
5	5,5	6,5	8	9
6	5	6,7	7	8,5
7	4,5	6,5	7,2	8,5
8	6	6,8	8	9,5
9	5	6,5	7	8
10	5	6,3	6,8	10,5
11	5,5	6,5	7	11
12	5,2	6,2	6,5	7,5
13	5	6,5	7,5	8,5
14	5	8,5	8,5	9,5
15	5	6,3	7,5	8
16	5,5	7,2	8	9
17	5	6	7,5	9
18	5,5	6,5	7,5	7,5
19	5	6,5	7	8,5
20	6	6	6,5	7,5
21	5	6,5	8,5	8
22	5	5,5	6,5	8,5
23	5,5	5,5	7,5	8,5
PROMEDIO DE TALLA	5,29	6,42	7,48	8,63
GANANCIA PROMEDIO DE TALLA (CM) TOTAL	121,70	147,70	172,00	198,50
NUMERO TOTAL DE TILAPIAS	PESO TOTAL DE TILAPIAS (gramos)			
23	112	143	178	215
PESO PROMEDIO (gramos)	4,87	6,22	7,74	9,35
GANANCIA PROMEDIO DE PESO (gramos)		1,35	2,87	4,48
TASA DE CRECIMIENTO ABSOLUTA	0,106			

$$T.C.A = \frac{9,35 - 4,87}{42 \text{ días}}$$

ANEXO N°4. Ficha de seguimiento de crecimiento de hortalizas en el sistema acuapónico de recirculación.

MONITOREO DEL CRECIMIENTO DE CULTIVOS DE LECHUGA (*Lactuca sativa* var. *Intybacea*), ALBAHACA (*Ocimum basilicum*) Y ACELGA (*Beta vulgaris* var. *cicla*) EN EL SISTEMA ACUAPÓNICO DE RECIRCULACIÓN

HORTALIZAS		FECHA	26/02/2019	3/03/2019	10/03/2019	17/03/2019	24/03/2019	31/03/2019
L E C H U G A S	L1		7,5	10,5	15	19	23	28
	L2		7	12	15	20	24	26
	L3		7	9,5	13,5	19	21	24,5
	L4		6	9,5	13	18	22	27
	L5		5,5	9	12	19	22	25,5
	L6		6,5	10	14	20	23	29
	L7		6,5	11	15	18	21	25
	L8		7	11,5	15	19	24	28,5
PROMEDIO			6,63	10,38	14,06	19,00	22,50	26,69
Ganancia de tamaño				3,75	7,44	12,38	15,88	20,06
A L B A H A C A S	AL1		3	4,5	5,5	6	10	13
	AL2		5	7	8	10	12	15
	AL3		7,5	9	11	14	16	23
	AL4		2	2,5	3	5,5	8	12
	AL5		10,5	11	13	15,5	18,5	22
	AL6		5	7	9	11,5	13	17
	AL7		5,5	6	9	6,5	14	17,5
	AL8		3	4	5	11	11	14
	AL9		5,5	6,5	8	11	13,5	16
	AL10		4,5	5	7	8	11	15
	AL11		7	8	9	11	13,5	17
	AL12		8,5	10	12	13	16	20,5
PROMEDIO			5,58	6,71	8,29	10,29	13,04	16,83
Ganancia de tamaño				1,13	2,71	4,71	7,46	11,25
A C E L G A	AC1		6,5	8	10,5	14	15,5	21
	AC2		9	12	16	18,5	21	24,5
	AC3		9	12	14,5	16	18	25,5
	AC4		5	7,5	9	12,5	14	18
PROMEDIO			7,38	9,18	12,50	15,25	17,13	22,25
Ganancia de tamaño				2,5	5,13	7,88	9,75	14,88

ANEXO Nº 5. Ficha de Monitoreo de pH y temperatura del Sistema Acuapónico de Recirculación

FICHA DE SEGUIMIENTO DE PH Y TEMPERATURA EN EL SISTEMA ACUAPÓNICO DE RECIRCULACIÓN				
ESPECIE		Oreochromis niloticus		
PROCEDENCIA		CINPIS		
FECHA DE INSTALACION		18/02/2019		
POBLACION DE CULTIVOS		27 CULTIVOS		
POBLACION DE PECES		23 TILAPIAS		
SEMANA	FECHA	FECHAS DE MONITOREO IN SITU		OBSERVACIONES
		PH	TEMPERATURA (°C)	
1	MAR 26/02/19	7,14	29	Inicio de instalación
	MIÉ 27/02/19	7,61	28,3	
	JUE 28/02/19	7,51	26,4	
	VIE 01/03/19	7,65	28,7	
	SÁB 02/03/19	7	27,3	
	DOM 03/03/19	7,3	27,8	Termino de instalación
	LUN 04/03/19	6,89	29,2	
2	MAR 05/03/19	6,95	28,2	
	MIÉ 06/03/19	7,3	29,2	
	JUE 07/03/19	7,41	28	
	VIE 08/03/19	7,39	28,7	
	SÁB 09/03/19	7,3	28	
	DOM 10/03/19	7,45	28,5	Termino de instalación
	LUN 11/03/19	7,26	28,1	
3	MAR 12/03/19	7,23	29,8	
	MIÉ 13/03/19	7,24	29,2	
	JUE 14/03/19	7,39	29,5	
	VIE 15/03/19	7,36	27,9	
	SÁB 16/03/19	7,51	27,8	
	DOM 17/03/19	7,42	28,3	Termino de instalación
	LUN 18/03/19	7,67	28	
4	MAR 19/03/19	7,65	27,6	
	MIÉ 20/03/19	7,66	28,3	
	JUE 21/03/19	7,68	26,4	
	VIE 22/03/19	7,65	26,7	
	SÁB 23/03/19	7,65	27,3	
	DOM 24/03/19	7,62	27,5	Termino de instalación
	LUN 25/03/19	7,59	28,3	
5	MAR 26/03/19	7,63	28,4	
	MIÉ 27/03/19	7,66	29,5	
	JUE 28/03/19	7,59	27,3	
	VIE 29/03/19	7,61	27,4	
	SAB 30/03/19	7,58	28,1	
	DOM 31/03/19	7,63	27,5	

ANEXO N°6: Tablas de los valores diarios de pH y temperatura del sistema acuapónico de recirculación

Tabla 26.
Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la primera semana de muestreo

Valores obtenidos en la primera semana de muestreo			
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C
26/02/2019	14:10	7.14	29
27/02/2019	14:20	7.61	28.3
28/02/2019	14:15	7.81	26.4
01/03/2019	14:25	7.65	28.7
02/03/2019	14:20	7	27.3
03/03/2019	14:25	7.30	27.8
04/03/2019	14:15	6.89	29.2

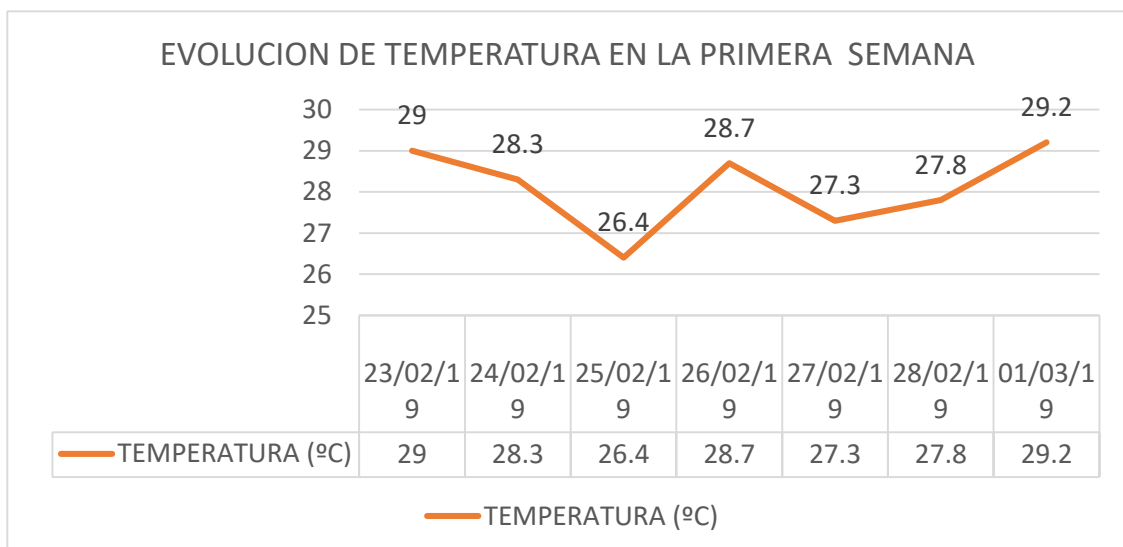
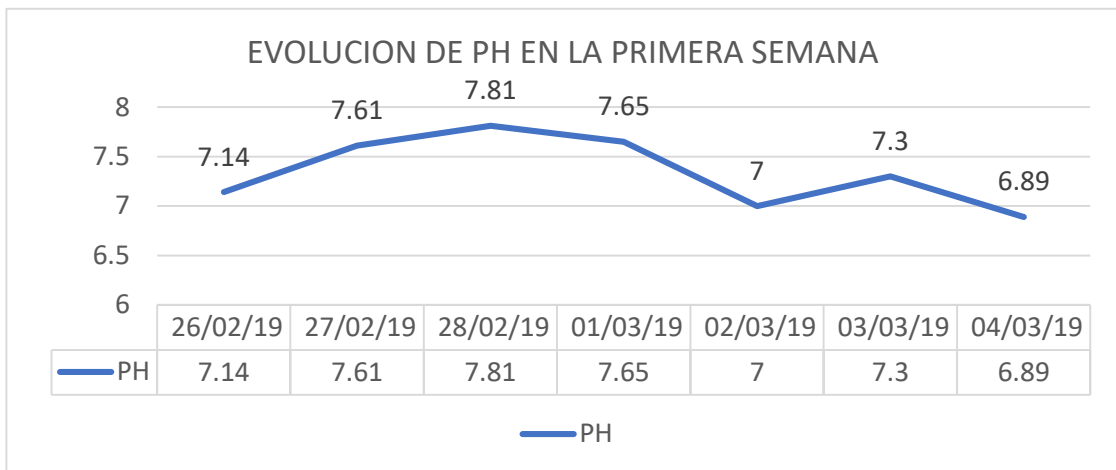


Tabla 27.

Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la segunda semana de muestreo

Valores obtenidos en la segunda semana de muestreo			
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C
05/03/2019	14:12	6.95	28.2
06/03/2019	14:10	7.30	29.2
07/03/2019	14:22	7.41	28,0
08/03/2019	14:15	7.39	28,3
09/03/2019	14:10	7,3	28
10/03/2019	14:12	7,45	27,5
11/03/2019	14:15	7,26	28,1

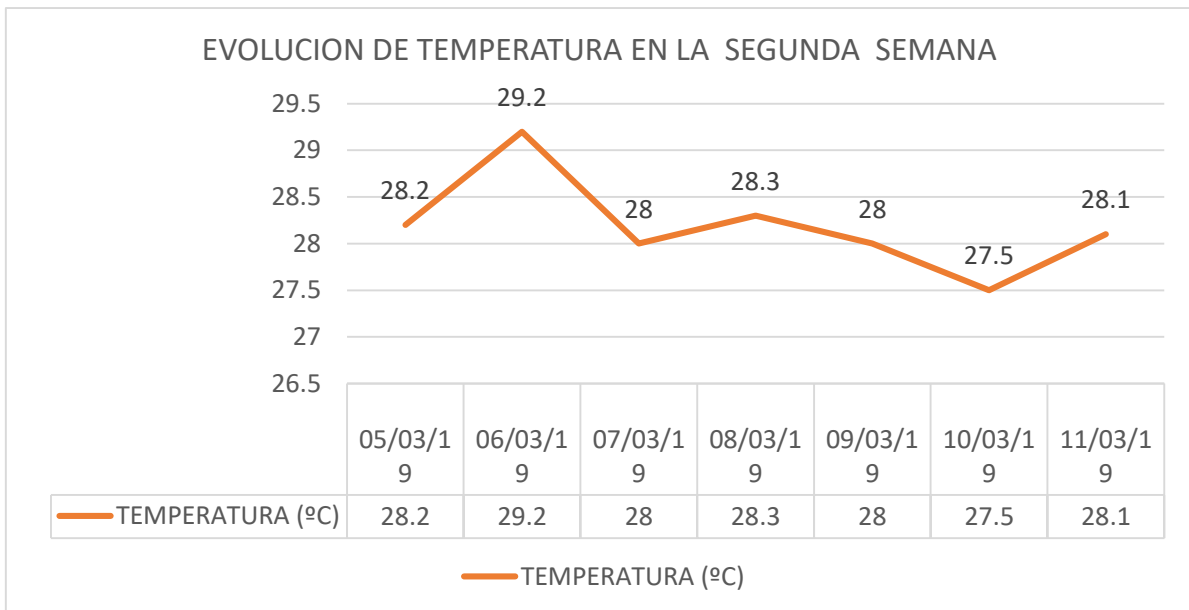
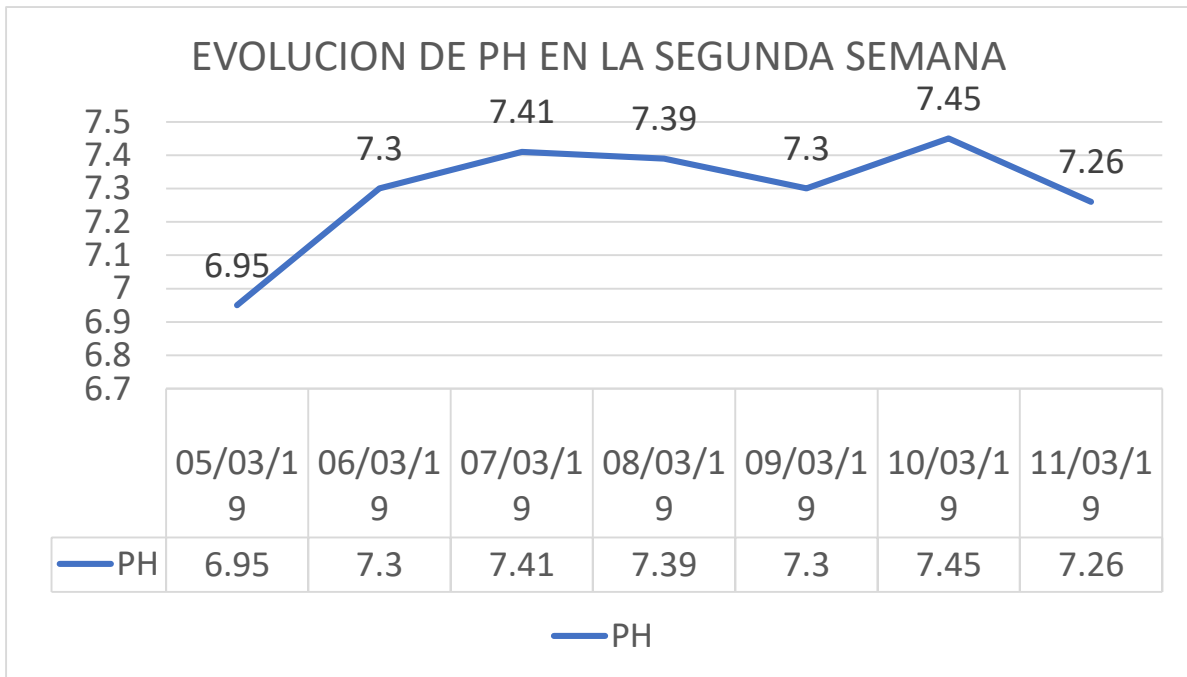


Tabla 28.

Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la tercera semana de muestreo

Valores obtenidos en la tercera semana de muestreo			
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C
12/03/2019	14:10	7,23	29,8
13/03/2019	14:20	7,24	29,2
14/03/2019	14:15	7,39	28,5
15/03/2019	14:22	7,36	27,9
16/03/2019	14:15	7,51	27,8
17/03/2019	14:10	7,42	28,3
18/03/2019	14:17	7,67	28

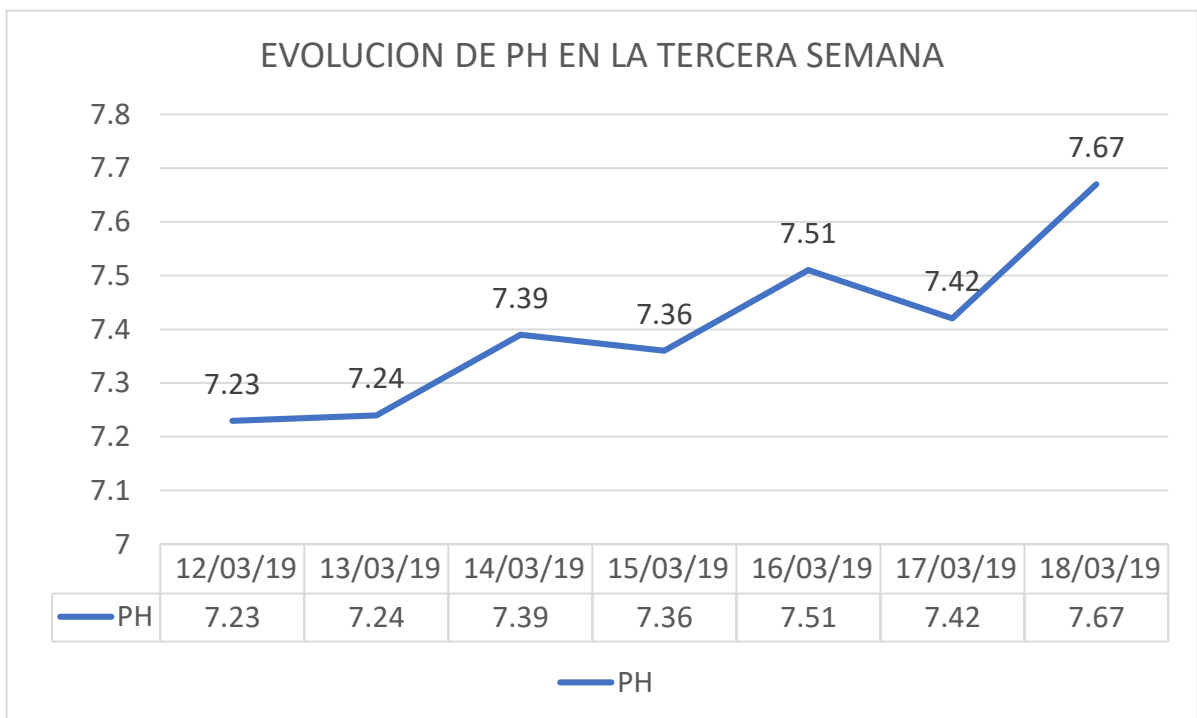
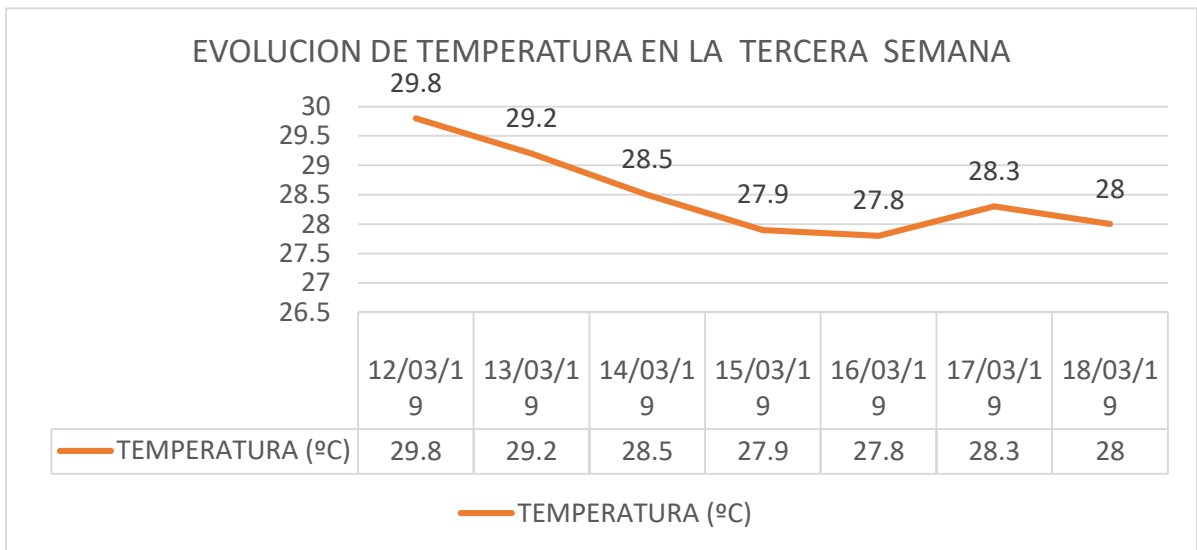


Tabla 29.

Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la cuarta semana de muestreo

Valores obtenidos en la cuarta semana de muestreo			
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C
19/03/2019	14:12	7,65	28,6
20/03/2019	14:15	7,66	27,3
21/03/2019	14:10	7,68	26,4
22/03/2019	14:17	7,65	26,7
23/03/2019	14:15	7,65	27,3
24/03/2019	14:12	7,62	27,5
25/03/2019	14:10	7,59	28,3

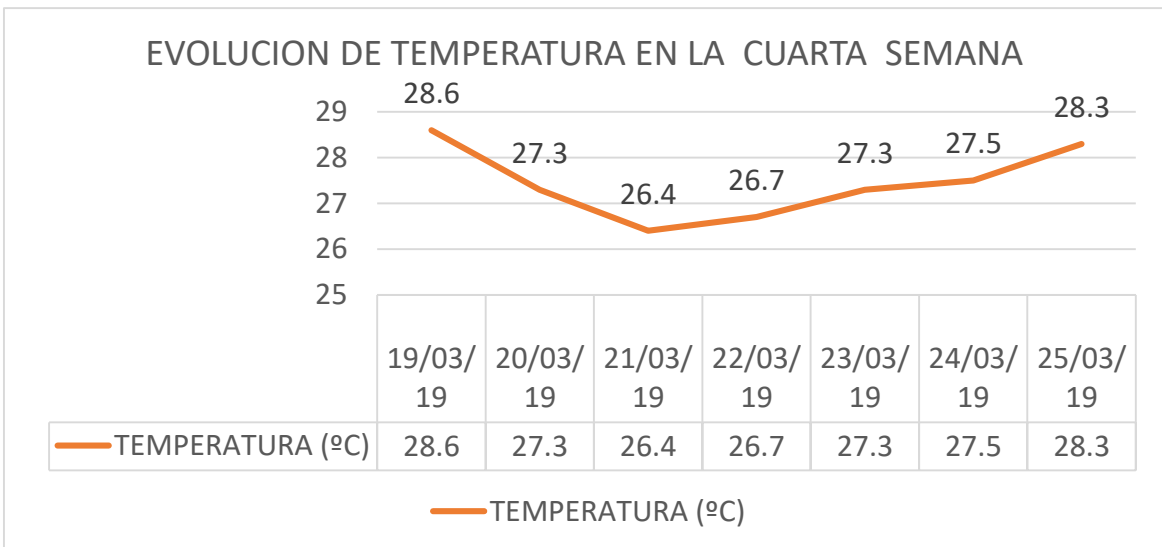
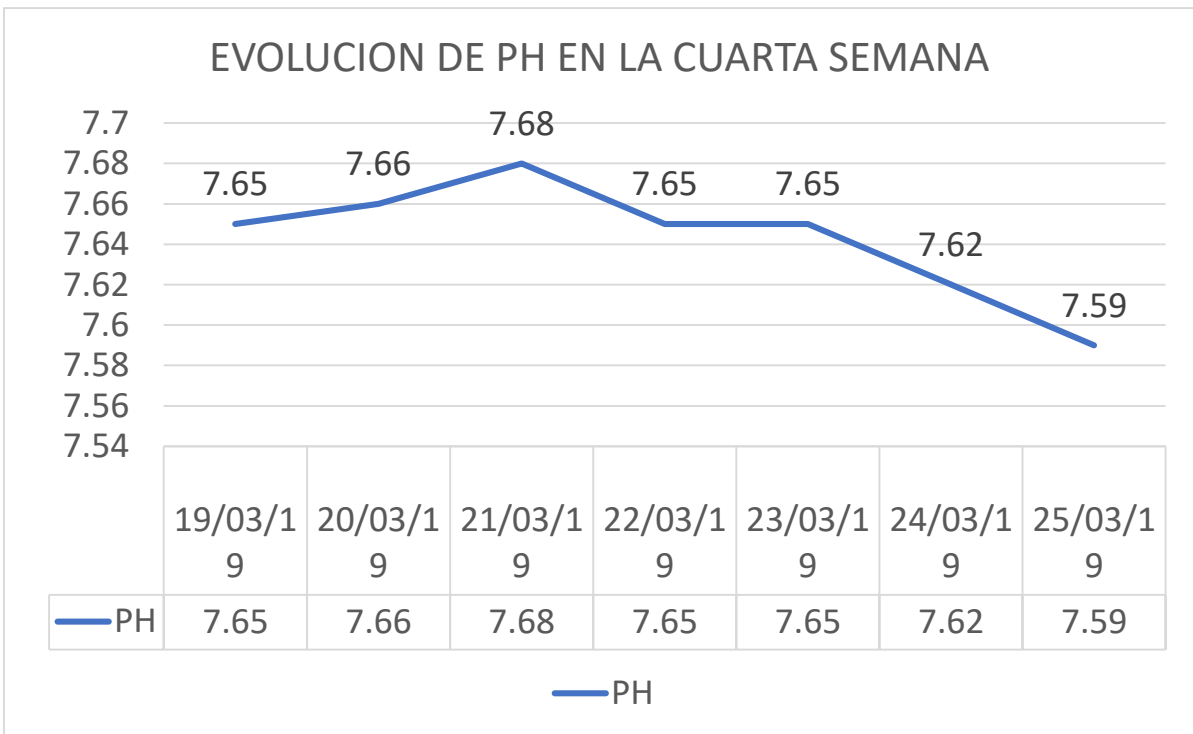
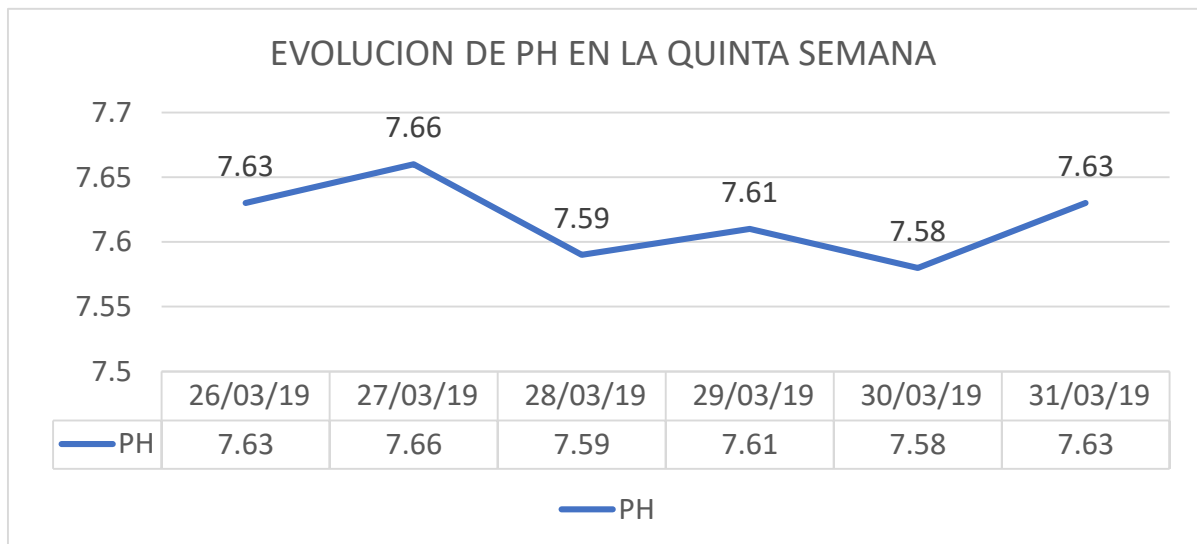
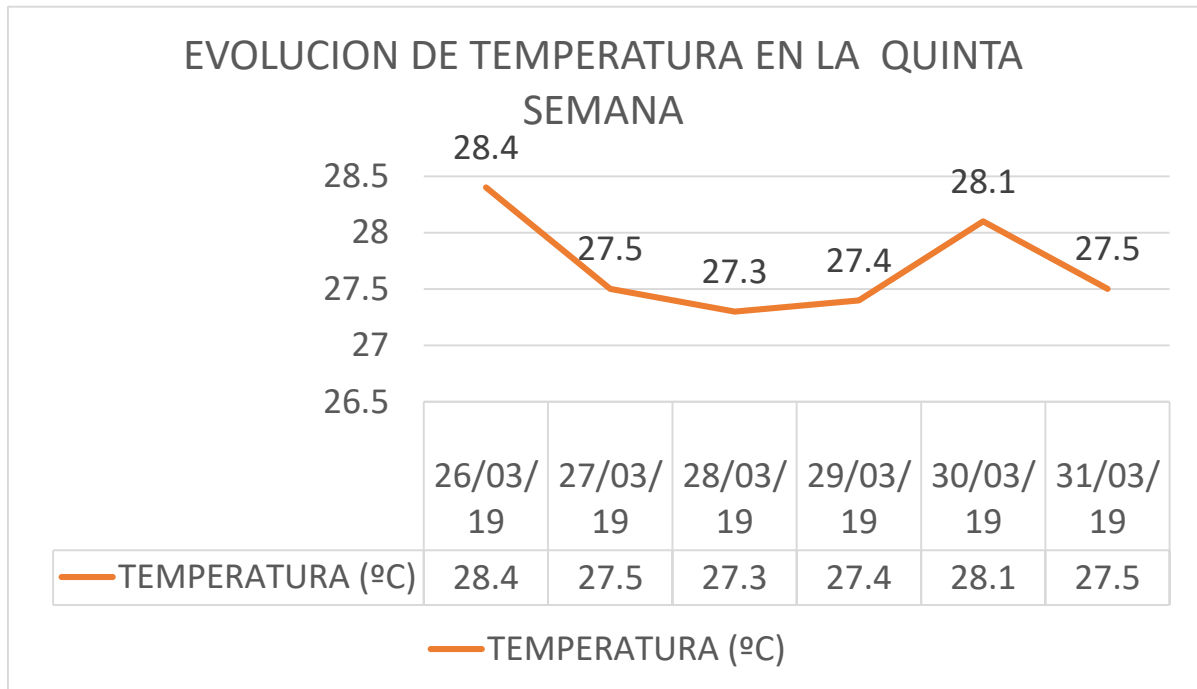


Tabla 30.

Valores de los parámetros pH y temperatura del tanque evaluados en la quinta semana de muestreo

Valores obtenidos en la quinta semana de muestreo				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	
26/03/2019	14:12	7,63	28,4	
27/03/2019	14:20	7,66	27,5	
28/03/2019	14:15	7,59	27,3	
29/03/2019	14:10	7,61	27,4	
30/03/2019	14:12	7,58	28,1	
31/03/2019	14:12	7,63	27,5	



ANEXO N°7: Resultados de laboratorio del primer punto de muestreo a la salida del decantador (entrada de la cama de cultivo).



INFORME DE ENSAYO 91059.05

FR-044

N° de Orden de Servicio : O.S. 190228.01 DA
N° de Protocolo : 91059.05
Cliente : DIANA CASTAÑEDA VILLANUEVA
Dirección legal del cliente : A.H. SR. DE LOS MILAGROS MZ "D" LOTE 12, SAN JUAN DE MIRAFLORES
Muestra(s) declarada(s) : Muestra de Agua
Procedencia de la Muestra : Muestreo realizado por el Cliente
Nombre del Proyecto: Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de la Crianza de Tilapias a través de un Sistema Acuapónico de Recirculación utilizando Cultivos de Hortalizas
Punto de Muestreo: A.H. SR. DE LOS MILAGROS MZ "D" LOTE 12, SAN JUAN DE MIRAFLORES
Cantidad de Muestra(s) para ensayo : 01 muestra
Forma de Presentación : 1 Frasco de Plastico Estéril, 2 Frascos de Plastico de Primer Uso por muestra
Identificación de la Muestra : Cod. Lab. 02-28005
Fecha de recepción de muestra(s) : 2019-02-28
Fecha de Inicio del Análisis : 2019-02-28
Fecha de Emisión de Informe : 2019-03-05

Código de Laboratorio		02-28005
Código de Muestra		SRA001
Descripción del Punto de Muestreo		Salida de Sedimentador
Coordenadas del Punto de Muestreo		8652153N 287558E 270 m.
Tipo de Muestra		Agua Residual Industrial
Fecha Inicial / Hora de Muestreo		28-02-2019/ 15:47 Hrs.
Fecha Final / Hora de Muestreo		28-02-2019/ 15:52 Hrs.
Parámetro de Ensayo	Unidades	Resultados
Parásitos - Protozoarios*		
Quistes y Ooquistes de Protozoarios	N°Organismos/100 mL	0
Quistes - Amebas *		
<i>Endolimax sp</i>	Quistes/ 100 mL	0
<i>Entamoeba sp</i>	Quistes/ 100 mL	0
<i>Giardia sp</i>	Quistes/ 100 mL	0
<i>Iodamoeba sp</i>	Quistes/ 100 mL	0
<i>Chilomastix sp</i>	Quistes/ 100 mL	0
<i>Acanthamoeba sp</i>	Quistes/ 100 mL	0
<i>Naegleria fowleri</i>	Quistes/ 100 mL	0
Ciliados*		
<i>Balantidium sp</i>	Quistes/ 100 mL	0
Coccidia*		
<i>Isospora sp</i>	Quistes/ 100 mL	0



El informe de ensayo sirve de validación para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo entenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de Intesa Pública, su actualización o modificación constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C.
 Rev.00
 Fecha de revisión: 2017-04-10
 Pág. 1 de 2

INFORME DE ENSAYO 91059.05

FR-044

Código de Laboratorio		02-28005		
Código de Muestra		SRA001		
Descripción del Punto de Muestreo		Salida de Sedimentador		
Coordenadas del Punto de Muestreo		8652153N 287558E 270 m.		
Tipo de Muestra		Agua Residual Industrial		
Fecha Inicial / Hora de Muestreo		28-02-2019/ 15:47 Hrs.		
Fecha Final / Hora de Muestreo		28-02-2019/ 15:48 Hrs.		
Parámetro de Ensayo	Unidades	Resultados	Limite de Detección de Método	Limite de Cuantificación de Método
pH *	Valor de pH	7.84	----	----
Amoniaco *	mg NH ₃ /L	0.061	0.008	0.024
Nitritos (Como N) *	mg NO ₂ -N/L	< 0.005	0.005	0.015
Nitratos (Como N) *	mg NO ₃ -N/L	0.512	0.003	0.009
Oxígeno Disuelto*	mg/L	6.20	-	-

Metodologías

Parámetro	Método de Referencia
PARASITOS PROTOZOARIOS	Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio (Baillenger modificado) OMS 1997 (Validado) --- No incluye Muestreo
ANIONES/NITRATOS/NITRITOS)	EPA 300.1 Rev. 1.1997 (Determination of inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
OXIGENO DISUELTO	EPA 360.1 Oxygen, dissolved (Membrane Electrode) (1971)
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500 H+ B, 23rd Edition (Electrometric Method)
AMONIACO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-NH ₃ F, 23rd Edition (Phenate Method)

FIN DE DOCUMENTO




Blgo. Grover R. Ruyal Falcón
C.B.P. 8506
Jefe de Laboratorio

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo entenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su alteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C.
Rev. 00

Fecha de revisión: 2017-04-10

Pág. 2 de 2

ANEXO N°8: Resultados de laboratorio del segundo punto de muestreo a la salida de la cama de cultivo.



INFORME DE ENSAYO 91080.10

FR-044

N° de Orden de Servicio : O.S. 190228.01 DA
N° de Protocolo : 91080.10
Cliente : DIANA LETICIA CASTAÑEDA VILLANUEVA
Dirección legal del cliente : A.H. SR. DE LOS MILAGROS MZ D LOTE 12, SAN JUAN DE MIRAFLORES.
Muestra(s) declarada(s) : ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA - TESIS.
Procedencia de la Muestra : **Nombre del Proyecto:** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA CRIANZA DE TILAPIAS ATRAVES DE UN SISTEMA ACUAPONICO DE RECIRCULACION UTILIZANDO CULTIVOS DE HORTALIZAS.
Lugar de Muestreo: A.H. SR. DE LOS MILAGROS MZ D LOTE 12, SAN JUAN DE MIRAFLORES.

Cantidad de Muestra(s) para ensayo : 03 Muestras.
Forma de Presentación : 03 Frascos de 1L.
Identificación de la Muestra : Cod. Lab. 03-21009
Fecha de recepción de muestra(s) : 2019-03-21
Fecha de inicio del Análisis : 2019-03-21
Fecha de Emisión de Informe : 2019-04-01

Código de Laboratorio		03-21010	
Código de Muestra		SRAC02-A	
Descripción del Punto de Muestreo		SALIDA DE LA CAMA DE CULTIVO	
Tipo de Muestra		Agua Residual Industrial	
Fecha Final / Hora de Muestreo		21-03-2019/ 14:59 Hrs.	
Parámetro de Ensayo	Unidades	Resultados	Límite de Detección de Método
Nitratos (Como NO ₃)	mg NO ₃ -N/L	0.11	0.03
Nitritos (Como NO ₂)	mg NO ₂ -N/L	< 0.05	0.05
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.0	-
pH	Valor de pH	7.68	-
Amoniaco	mg NH ₃ -N/L	0.043	0.008
Turbidez	NTU	5.0	0.5

Metodologías

Parámetro	Método de Referencia
TURBIDEZ	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Edition 2017 Turbidity. (Nephelometric Method)
pH	APHA-AWWA-WEF, 22 m Ed. 2012/ 4500-H+B
NITRATOS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₃ -E, 23rd Ed, 2017, Nitrogen (Nitrate), Cadmium Reduction Method
NITRITOS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO ₂ -B, 23rd Ed. (Incluye MUESTREO), 2017, Nitrogen (Nitrite), Colorimetric Method
OXIGENO DISUELTO	EPA 350.1 Oxygen, dissolved (Membrane Electrode), (1971)
AMONIACO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-NH ₃ D, 23rd Edition 2017 Nitrogen (Ammonia), Ammonia - Selective Electrode Method

RIN DE DOCUMENTO



[Firma]
 Meliso Gruber A. Rupay Falcón
 C.B.P. 8505
 Jefe de Laboratorio

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de nuestro laboratorio, su autenticación lo hace válido de conformidad entre ambas partes.
 Rev 00
 Fecha de revisión: 2017-04-10

Pág. 1 de 1

ANEXO N°9: Presupuesto económico del trabajo de suficiencia profesional

PRESUPUESTO

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA CRANZA DE TILAPIAS (*Oreochromis niloticus*) A TRÁVES DEL SISTEMA ACUAPÓNICO DE RECIRCULACIÓN UTILIZANDO CULTIVOS DE LECHUGA (*Lactuca sativa* var. *Intybacea*), ALBAHACA (*Ocimum basilicum*) Y ACELGA (*Beta vulgaris* var. *circulata*)

N°	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL EN NUEVOS SOLES (S/.)
1	INVERSIÓN DIRECTA				
1.1	MATERIALES DE INSTALACIÓN				
	Bomba de agua	Unidad	1	55.00	55.00
	Recipiente para cama de cultivo	Unidad	1	40.00	40.00
	Contenedor para el cultivo de peces	Unidad	1	59.90	59.90
	Balde para decantador	Unidad	1	5.00	5.00
	Tubo de PVC (3/4')	Metros	3	3.00	9.00
	Tubo de PVC (1/2')	Metros	2	2.00	4.00
	Tubo de PVC (4')	Metros	0.5	8.00	4.00
	Codo de PVC (3/4')	Unidad	3	1.50	4.50
	Codo de PVC (1/2')	Unidad	2	1.00	2.00
	Nipe corrido de (3/4')	Unidad	1	4.50	4.50
	Pegamento para PVC	Unidad	1	6.00	6.00
	Teflón	Unidad	1	2.20	2.20
	TOTAL				196.10
1.2	CULTIVO DE HORTALIZAS				
	Plantulas	Unidad	23	0.5	11.50
	Arlita	Paquete	0.5	100.00	50.00
	TOTAL				61.50
1.3	CULTIVO DE PECES				
	Alimentacion	Global	1	30	30.00
	Peces de tilapia	Unidad	23	0.5	11.50
	TOTAL				41.50
1.4	MONITOREO Y SEGUIMIENTO				
	Guantes	Unidad	2	1.00	2.00
	Termómetro	Unidad	1	20.00	20.00
	pHmetro	Unidad	1	120.00	120.00
	Análisis en laboratorio de calidad de agua	Global	1	420.00	420.00
1.5	SERVICIOS BÁSICOS				
	Agua	Global	1	5.00	5.00
	Corriente eléctrica	Global	1	20.00	20.00
1.6	VIATICOS				
	Utiles de escritorio	Global	1	2.00	2.00
	Gastos de viaje	Global	1	30.00	30.00
	Alimentacion	Global	1	15.00	15.00
	TOTAL				634.00
2	INVERSIÓN INDIRECTA				
1.5	EQUIPOS				
	Dremel 3000	Unidad	1	169.00	169.00
	wincha	Unidad	1	6.00	6.00
	TOTAL				175.00
COSTO TOTAL DIRECTO DE PROYECTO					1,108.10