



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Escuela De Posgrado

Efecto de la fertilización foliar en sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (Tilapia gris) y *Lactuca sativa* (Lechuga) en el Centro Poblado Paraíso, Santa María - 2022

Tesis

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales

Autor

Cesar Alexander López Ramos

Asesor

Dr. Ronald Luis Ramos Pacheco

Huacho – Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

ESCUELA DE POSGRADO

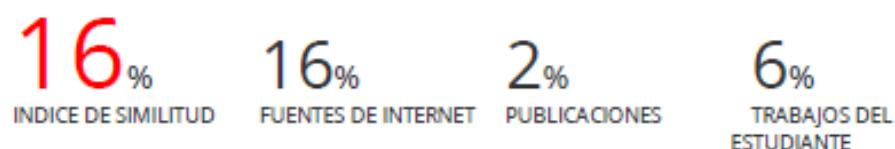
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

INFORMACIÓN DE METADATOS

| DATOS DEL AUTOR (ES): | | |
|--|----------|-------------------------|
| NOMBRES Y APELLIDOS | DNI | FECHA DE SUSTENTACIÓN |
| Cesar Alexander López Ramos | 45265352 | 28 de Setiembre de 2023 |
| | | |
| DATOS DEL ASESOR: | | |
| NOMBRES Y APELLIDOS | DNI | CÓDIGO ORCID |
| Ronald Luis Ramos Pacheco | 15615274 | 0000-0003-2036-1068 |
| | | |
| DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO: | | |
| NOMBRES Y APELLIDOS | DNI | CODIGO ORCID |
| Angel Pedro Campos Julca | 15733670 | 0000-0002-1418-6104 |
| Edwin Guillermo Galvez Torres | 15592688 | 0000-0002-7421-4453 |
| Kathelin Alexandra Lozano Vasquez | 09637974 | 0000-0002-2106-4420 |
| Fredesvindo Fernandez Herrera | 40588728 | 0000-0003-2973-7973 |
| | | |

"EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR EN SISTEMA ACUAPÓNICO DE *Oreochromis niloticus* (TILAPIA GRIS) Y *Lactuca sativa* (LECHUGA) EN EL CENTRO POBLADO PARAÍSO, SANTA MARÍA - 2022.

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | repository.unimilitar.edu.co Fuente de Internet | 1% |
| 2 | Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante | 1% |
| 3 | repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | www.coursehero.com Fuente de Internet | 1% |
| repositorio.unfv.edu.pe | | |

**“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR EN SISTEMA
ACUAPÓNICO DE *Oreochromis niloticus* (TILAPIA GRIS) Y *Lactuca
sativa* (LECHUGA) EN EL CENTRO POBLADO PARAÍSO, SANTA
MARÍA - 2022.”**

M(o) Cesar Alexander López Ramos

TESIS DE DOCTORADO

ASESOR: Dr. Ronald Luis Ramos Pacheco

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES
HUACHO
2023**

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a todas las personas que me apoyaron y sacrificaron para poder obtener este logro.

Cesar Alexander López Ramos

AGRADECIMIENTO

Agradecer a los docentes y profesionales que fueron los pilares fundamentales para esta investigación.

Cesar Alexander López Ramos

ÍNDICE

| | |
|-----------------------|-------------|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT | viii |

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

| | |
|--|-----------|
| 1.1 Descripción de la realidad problemática | 1 |
| 1.2 Formulación del problema | 8 |
| 1.2.1 Problema general | 8 |
| 1.2.2 Problemas específicos | 8 |
| 1.3 Objetivos de la investigación | 9 |
| 1.3.1 Objetivo general | 9 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 9 |
| 1.4 Justificación de la investigación | 9 |
| 1.5 Delimitaciones del estudio | 11 |
| 1.6 Viabilidad del estudio | 11 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|--|-----------|
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 12 |
| 2.1.1 Investigaciones internacionales | 12 |
| 2.1.2 Investigaciones nacionales | 17 |
| 2.2 Bases teóricas | 21 |
| 2.3 Bases filosóficas | 42 |
| 2.4 Definición de términos básicos | 43 |
| 2.5 Hipótesis de investigación | 45 |
| 2.5.1 Hipótesis general | 45 |
| 2.5.2 Hipótesis específicas | 45 |
| 2.6 Operacionalización de las variables | 46 |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 3.1 Diseño metodológico | 47 |
| 3.2 Población y muestra | 47 |
| 3.2.1 Población | 47 |

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------|
| 3.2.2 | Muestra | 47 |
| 3.3 | Técnicas de recolección de datos | 47 |
| 3.4 | Técnicas para el procesamiento de la información | 48 |
| CAPÍTULO IV | | |
| RESULTADOS | | |
| 4.1 | Análisis de resultados | 49 |
| 4.2 | Contrastación de hipótesis | 60 |
| CAPÍTULO V | | |
| DISCUSIÓN | | |
| 5.1 | Discusión de resultados | 64 |
| CAPÍTULO VI | | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | |
| 6.1 | Conclusiones | 66 |
| 6.2 | Recomendaciones | 67 |
| REFERENCIAS | | 68 |
| 7.1 | Fuentes documentales | 68 |
| 7.2 | Fuentes bibliográficas | 68 |
| 7.3 | Fuentes hemerográficas | 70 |
| 7.4 | Fuentes electrónicas | 70 |
| ANEXOS | | 72 |

RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo el poder determinar si la fertilización foliar mejora la calidad de los productos cultivados en acuaponía empleando la fertilización foliar de agroquímicos, la metodología La presente investigación es de tipo aplicada, de nivel de investigación explicativo relacional, el diseño es experimental, el enfoque es cuantitativo y el alcance explicativo, la muestra consto de 30 tilapias de peso promedio de 0.168 kg por animal, distribuido en 2 lotes de 15, se empleó 198 lechugas distribuido en tres lotes de 66, el primero de acuaponía más fertilización foliar, el segundo de acuaponía sin ninguna adición y el tercero de un sistema hidropónico, los resultados demostraron que el sistema acuapónico más fertilización, obtuvo mejores resultados 21.93 cm de largo y 16.52 en comparación con el sistema acuapónico que dio como resultado 19.43 cm de largo y 14.02 cm de ancho, se concluye que no influyendo la fertilización de ninguna forma al rendimiento de las especies acuícolas $p=0.77$, el cual es mayor al 0.05, y en la calidad de agua no hubo diferencias. En conclusión, la fertilización foliar en sistemas acuapónicos ayuda a mejorar la calidad del producto en características de ancho y largo de hoja de la hortaliza lechuga, y no influye en nada en el rendimiento de los peces ya que no existe diferencia significativa entre ambos tratamientos, ni en la calidad de agua donde se albergaron las especies acuícolas.

Palabras clave: Acuaponía, hidroponía, Fertilización foliar, Acuicultura, Agroecología.

ABSTRACT

The objective of the research was to be able to determine if foliar fertilization improves the quality of products grown in aquaponics using foliar fertilization of agrochemicals, the methodology This research is of an applied type, of a relational explanatory research level, the design is experimental, the approach is quantitative and the explanatory scope, the sample consisted of 30 tilapia with an average weight of 0.168 kg per animal, distributed in 2 batches of 15, 198 lettuces were used distributed in three batches of 66, the first aquaponics plus foliar fertilization, the second of aquaponics without any addition and the third of a hydroponic system, the results showed that the aquaponic system plus fertilization, obtained better results 21.93 cm long and 16.52 compared to the aquaponic system that resulted in 19.43 cm long and 14.02 cm wide, it is concluded that fertilization does not influence in any way the performance of the aquaculture species $p=0.77$, which is greater than 0.05, and there were no differences in water quality. In conclusion, foliar fertilization in aquaponic systems helps to improve the quality of the product in characteristics of leaf width and length of the lettuce vegetable and does not influence the performance of the fish at all since there is no significant difference between both treatments. nor in the quality of water where the aquaculture species were housed.

Keywords: Aquaponics, hydroponics, Foliar fertilization, Aquaculture, Agroecology.

INTRODUCCIÓN

Como ya he sabido en la actualidad existe la contaminación ambiental que en gran parte se da por efecto de los gases de efecto invernadero, los cuales tienen su origen en la gran mayoría por combustibles fósiles que son derivados del petróleo. A pesar de que en la actualidad existen muchos esfuerzos tanto nacionales como internacionales para reducir la generación de estos gases y sus efectos, aún es aún inalcanzable el poder disminuir los e erradicarlos, ya que por la economía que se mueve a raíz de ellos no se cumplen los acuerdos que se generan por parte de la gestión política.

En nuestro país es común observar la generación de CO₂ por causas de los parques automotores, es por ello por lo que en zonas en donde existe una abundancia de transporte público las temperaturas son más elevadas, siendo este un claro ejemplo de que el calentamiento global se debe a estos compuestos.

Entre las causales o efectos que tienen estos gases son la elevación de la temperatura ya que estos no se pueden disipar tan fácilmente, daño a la capa de ozono, lo cual es un tema ya conocido, se puede observar el daño que sufren los polos norte y sur, así mismo también como las estaciones del año ya no son tan marcadas como antes, es decir las temperaturas de una estación a otra son casi similares, ocasionando que el verano no se perciba como tal así como era en fechas anteriores, el cambio de temperatura de las corrientes marinas los cuales son a causa de la variación que ocasionan el derretimiento de los polos, el exceso de lluvias y la escasez de estas son una de las tantas consecuencias estas consecuencias mencionadas de las que se vive día a día y que se conoce como calentamiento global.

Al existir todos estos problemas ocasionados por el cambio climático se genera una preocupación que día a día crece, por la cual la mayoría de los profesionales vinculados al abastecimiento de productos de primera necesidad han tenido y están en la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan adaptar los sistemas de producción a estos cambios climáticos.

Este cambio climático ocasionará que los sistemas de producción se vuelvan ineficientes, ya que como se puede ver en la actualidad los rendimientos son más bajos, y esto se debe a múltiples factores, como por ejemplo el clima, plagas, disponibilidad del recurso hídrico, entre otros factores que tienen un efecto negativo en la productividad.

Uno de los factores más importantes es la baja disponibilidad del recurso hídrico, esto se debe a que el consumo del recurso hídrico está más enfocado en su consumo para la población de manera directa, es por ello que para la agricultura su disponibilidad es medida, siendo esta una de las razones por las cuales los agricultores deben de adaptarse tecnificando de manera adecuada sus sistemas de producción para hacer más eficiente el uso de este recurso, es por ello que la mayoría de estos ha abandonado el sistema de producción convencional migrando a los sistemas tecnificados.

Esta problemática no se encuentra aislada a los sistemas de producción agrícola y zootécnico, más sino también se vincula al sistema de producción acuícola, el cual también genera gastos de recurso hídrico y contaminantes como el CO_2 , si los sistemas son convencionales o también denominados extensivos tienen un nivel de eficiencia muy bajo y un gasto del recurso hídrico muy elevado, así mismo los sistemas intensivos tienen un gasto en los requerimientos de energía eléctrica, ocasionando que exista un consumo elevado de kilowatts y esto genera un impacto ambiental ya que se convierte en kilogramos de CO_2 producidos.

Ciertamente todos estos problemas presentes nos hacen meditar en Cómo podemos reducir estos consumos y subproductos que contaminan, es aquí donde las Naciones Unidas tomaron un enfoque de sustentabilidad, en el cual manifiestan que se deben adoptar medidas de producción de alimentos con un menor impacto ecológico y que estos sean sostenibles en el tiempo, es por ello que los sistemas de producción deben de practicar nuevas alternativas dentro de sus procesos para que minimicen los impactos generados al medio ambiente y reduzca sustancialmente el uso del recurso hídrico.

Siendo esta la premisa se debe adoptar un sistema de recirculación el cual está orientado a un sistema de economía circular, el cual tiene por principio el aprovechar todos los recursos que se puedan generar dentro de un proceso productivo.

Existen muchos factores que determinan el impacto ambiental, de los cuales, los más resaltantes y que la mayoría de los investigadores considera que es la sobreexplotación de recursos naturales, el incremento del número de habitantes en el plantea y el aumento de la producción de desechos perjudiciales para el entorno ambiental, ya que traen tanto perjuicio que alteran los factores relacionados con la seguridad, el bienestar hídrico y alimentario en las personas, mientras que en otro aspecto colabora para desarrollar cambios climáticos a los que la población no se encuentra adaptada. Mientras tanto, el hecho que

cada vez haya mayor tasa de natalidad en comparación con la tasa de mortalidad significa que el incremento de la población viene aumentando considerablemente; entonces la forma en que este aspecto afecta a la humanidad se da en base a la necesidad de mayores modificaciones en el uso del suelo generando que las tierras que fueron destinadas para la producción agropecuaria en su momento pierdan terreno, desencadenando un sinnúmero de perjuicios como el caso de disminución de la seguridad alimentaria o complicaciones para mantener el equilibrio en el medio ambiente (Hennecke & Rettenmaier, 2014).

Cuando se producen modificaciones en la utilización del suelo que en su momento era destinado como tierras para producción agrícola y el desarrollo de la acuicultura empleando métodos tradicionales, se consigue que los ambientes naturales se muestren deteriorados y no aptos para el desarrollo de las actividades mencionadas anteriormente. La biodiversidad se muestra disminuida por distintos factores como la contaminación, salinización y la alteración de los nutrientes que presentan los suelos además de las fuentes hídricas naturales que existen, llegando a modificar también el flujo y orientación que tenían los ríos inicialmente. Es preciso mencionar que, el uso de agua en prácticas tradicionales de agricultura y acuicultura es totalmente indispensable, haciéndose uso de cerca del 70% de agua dulce extraída junto con más del 90% de consumo (FAO, 2013).

Con respecto a la acuicultura continental, específicamente en aquellos cultivos que son desarrollados mediante sistemas lóticos, se hace uso de agua que va siendo cambiada totalmente por lo menos 5 veces diariamente, cuando se trata de estanques se trabaja con un rango de 10-25% de agua, aunque existen otros en los que se requiere del cambio del 100% del agua diario, traduciéndose en un consumo alto de agua por cada kilogramo de organismo que se produce (Merino, Salazar, & Gomez, 2006).

Sin embargo, la acuicultura y agricultura han ido mejorando las estrategias, y, más que mejorar han innovado, permitiéndoles aprovechar de manera más óptima los recursos con los que trabajan, ayudando a disminuir los costos de producción y los efectos adversos que perjudican el impacto ambiental, por ello la existencia de la agricultura ecológica, orgánica y la técnica de acuicultura RAS (Recirculating Aquaculture Systems) en el cultivo de plantas a través de la acuaponía e hidroponía.

La acuaponía es uno de los sistemas que está cobrando fuerza como alternativa de solución a la necesidad de los sistemas de producción con economía circular, tiempo atrás no era muy conocida su importancia, sin embargo, hoy ha cobrado fuerza, ya que permite evitar la

contaminación de la acuicultura, y además te entrega productos que son de consumo masivo.

La acuaponía consiste en una técnica en la que se combina la hidroponía con la técnica RAS de acuicultura. La finalidad es utilizar los desechos que se producen junto con el componente hidropónico como materia prima para ser convertida a una biomasa vegetal dentro del componente hidropónico. Entonces, la acuaponía tiene dos beneficios principales: Mejora la rentabilidad y reduce los costos ecológicos requeridos en producción. Debido a las características que presenta, se considera que es una técnica correspondiente a producción limpia ya que no genera un contacto directo de las plantas con la tierra por lo que se disminuye el uso de controles de plagas y se produce mayor permisividad en el control de los peces puesto que se ubican dentro de un sistema de cultivo cerrado (Nelson & Pade, 2008).

La técnica posee viabilidad y sostenibilidad dentro de espacios reducidos y tiene la capacidad de dar una producción altísima en alimentos tanto de origen animal como vegetal por lo que se muestra como una fuente que garantice la seguridad alimentaria en donde no es necesario tener suelos dedicados específicamente a fines agrícolas, la cantidad de nitrato y nitrógeno es reducida así como los fosfatos y demás nutrientes, se reduce la cantidad de agua destinada a producción de alimentos y permite facilidades para el mantenimiento y la cosecha (Nelson & Pade, 2008).

En un resumen simple para definir ¿Qué es la acuaponía?, se puede mencionar que es la integración entre la acuicultura y un sistema de producción agrícola denominado hidroponía.

La hidroponía es también denominada el sistema de producción sin suelo, y es un sistema que ha cobrado gran importancia en vista de la escasez de agua que afronta en la actualidad los agricultores.

Para poder desarrollar la acuaponía debemos conocer los principios básicos, que se pueden resumir en aprovechar la energía (desechos metabólicos) transformándola en productos comestibles, qué género un valor agregado, brindando de esta forma un ingreso económico extra, sin una elevada inversión.

El proceso que se genera en la acuaponía es simple de a grandes rasgos, inicia en un tratamiento del agua a través de filtro mecánicos que posteriormente pasa a filtro

biológicos removiendo el amonio y transformándolo en nutrientes aprovechables para las plantas tales como el nitrato, una vez que este compuesto pasa a las plantas el agua regresa ya limpia o tratada nuevamente a los peces y así se mantiene el ciclo de manera constante.

Si quisiéramos observar de manera detallada este proceso, se debe tener presente que para realizar la transformación de los compuestos nitrogenados se emplean bacterias que realizan esta labor. Para que el sistema no falle es necesario conocer los requerimientos de cada parte del sistema para mantener un equilibrio entre ellos y puedan funcionar de manera armónica.

Debido a las condiciones que presenta, el Perú posee un territorio con gran potencial para el incremento de la producción acuícola, sobre todo si se trata de la trucha y otras especies amazónicas como lo es la Tilapia, aunque también son considerables los productos acuícolas originados en aguas continentales que son requeridos por los grandes mercados y como materia de exportación.

El manejo de la tilapia es muy conocido y realizado dentro del país por lo que se deben aprovechar las condiciones ambientales cambiantes que posee en favor de la producción. A través de los trabajos desarrollados en distintas zonas que alberga el Perú dan buena fe de que es posible considerar un cultivo viable para la recuperación de la seguridad alimentaria mediante el montaje de una unidad que sea de pequeña a mediana escala.

Con respecto a la localidad en la que se requieren desarrollar el proyecto. Santa María es un área en la que se vienen desarrollando grandes cantidades de cultivos agrícolas como por ejemplo la producción de hortalizas, específicamente de las hortalizas de hoja como lo es la lechuga, un producto con bastante aceptación en los diversos mercados gourmet y para el consumo de toda la población, cuando se requiere de realizar diversos tipos de ensaladas. Esta es la favorita de muchos cultivadores debido a que pueden ser cultivadas en altas densidades y su cosecha se da en un corto tiempo, haciendo rentable su producción y venta.

Asimismo, respecto a la acuaponía, se considera que es una tecnología innovadora desarrollada con la finalidad de poder aumentar las ganancias correspondientes al sector agropecuario mediante técnicas que se van afinando para poder conseguir una mejor calidad del producto mejorando aspectos como el tamaño, la calidad, homogeneidad o calidad del agua, siendo todos estos factores que determinan la calidad del producto (Nelson & Pade, 2008).

Es por ello por lo que, basado en tales razones, el objetivo de este trabajo fue Determinar el efecto de la fertilización foliar en sistema acuapónico de *oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022, donde se analizó la productividad de los cultivos y la calidad del agua, para así de esta forma mejorar la producción sin afectar a ninguno de los otros sistemas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la actualidad existe una situación real que tenemos que tener presente donde ya se saben todos los problemas que se nos presentan hoy en día sobre todo de la contaminación del suelo, la tala desmesurada de selvas y bosques tratando de hacer cambios de uso de suelo para producción de alimentos o para otras actividades urbanas o industriales, la pesca donde realmente todavía hoy en día se obtiene la mayor parte de los pescados y mariscos están muy agotadas, tres cuartas partes de los recursos pesqueros realmente están agotados y por otro lado la agricultura tradicional que sigue creciendo pero a un ritmo no sostenible debido al gran desaprovechamiento que tiene del uso del agua y a los fertilizantes.

Otro problema que aqueja es la subida de precio y aunado a ello, la parte de la situación social con respecto a la contaminación de agua, a la seguridad y la soberanía alimentaria, a la hambruna que existe, la desnutrición, los problemas también de exceso de alimentos de desecho (comidas chatarras), otra gran problemática también que existe de un alto desperdicio de alimentos que no consumimos, todo esto viene a generar una situación muy importante de la cual tenemos que tener la conciencia de poder actuar y actuar rápido.

Como ya he sabido en la actualidad existe la contaminación ambiental que en gran parte se da por efecto de los gases de efecto invernadero, los cuales tienen su origen en la gran mayoría por combustibles fósiles que son derivados del petróleo. A pesar de que en la actualidad existen muchos esfuerzos tanto nacionales como internacionales para reducir la generación de estos gases y sus efectos, aún es aún inalcanzable el poder disminuir los e erradicarlos, ya que por la economía que se mueve a raíz de ellos no se cumplen los acuerdos que se generan por parte de la gestión política.

En nuestro país es común observar la generación de CO₂ por causas de los parques automotores, es por ello por lo que en zonas en donde existe una abundancia de transporte público las temperaturas son más elevadas, siendo este un claro ejemplo de que el calentamiento global se debe a estos compuestos.

Entre las causales o efectos que tienen estos gases son la elevación de la temperatura ya que estos no se pueden disipar tan fácilmente, daño a la capa de ozono, lo cual es un tema ya conocido, se puede observar el daño que sufren los polos norte y sur, así mismo también como las estaciones del año ya no son tan marcadas como antes, es decir las temperaturas de una estación a otra son casi similares, ocasionando que el verano no se perciba como tal así como era en fechas anteriores, el cambio de temperatura de las corrientes marinas los cuales son a causa de la variación que ocasionan el derretimiento de los polos, el exceso de lluvias y la escasez de estas son una de las tantas consecuencias estas consecuencias mencionadas de las que se vive día a día y que se conoce como calentamiento global.

Al existir todos estos problemas ocasionados por el cambio climático se genera una preocupación que día a día crece, por la cual la mayoría de los profesionales vinculados al abastecimiento de productos de primera necesidad han tenido y están en la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan adaptar los sistemas de producción a estos cambios climáticos.

Este cambio climático ocasionará que los sistemas de producción se vuelvan ineficientes, ya que como se puede ver en la actualidad los rendimientos son más bajos, y esto se debe a múltiples factores, como por ejemplo el clima, plagas, disponibilidad del recurso hídrico, entre otros factores que tienen un efecto negativo en la productividad.

Uno de los factores más importantes es la baja disponibilidad del recurso hídrico, esto se debe a que el consumo del recurso hídrico está más enfocado en su consumo para la población de manera directa, es por ello que para la agricultura su disponibilidad es medida, siendo esta una de las razones por las cuales los agricultores deben de adaptarse tecnificando de manera adecuada sus sistemas de producción para hacer más eficiente el uso de este recurso, es por ello que la mayoría de estos ha abandonado el sistema de producción convencional migrando a los sistemas tecnificados.

Esta problemática no se encuentra aislada a los sistemas de producción agrícola y zootécnico, más sino también se vincula al sistema de producción acuícola, el cual también genera gastos de recurso hídrico y contaminantes como el CO₂, si los sistemas son convencionales o también denominados extensivos tienen un nivel de eficiencia muy bajo y un gasto del recurso hídrico muy elevado, así mismo los sistemas intensivos tienen un gasto en los requerimientos de energía eléctrica, ocasionando que exista un consumo elevado de kilowatts y esto genera un impacto ambiental ya que se convierte en kilogramos de CO₂ producidos.

Ciertamente todos estos problemas presentes nos hacen meditar en cómo podemos reducir estos consumos y subproductos que contaminan, es aquí donde las Naciones Unidas tomaron un enfoque de sustentabilidad, en el cual manifiestan qué se deben adoptar medidas de producción de alimentos con un menor impacto ecológico y que estos sean sostenibles en el tiempo, es por ello que los sistemas de producción deben de practicar nuevas alternativas dentro de sus procesos para que minimicen los impactos generados al medio ambiente y reduzca sustancialmente el uso del recurso hídrico.

Siendo esta la premisa se debe adoptar un sistema de recirculación el cual está orientado a un sistema de economía circular, el cual tiene por principio el aprovechar todos los recursos que se puedan generar dentro de un proceso productivo.

Producto del aumento considerable y constante de la población en el planeta, el sector agropecuario se ha incrementado correlativamente en los últimos 10 años, teniendo por fin dar respuesta a la alta demanda de alimentos. Visto de esta forma, hay otros efectos que se han producido siendo inapropiados para el sector de producción agrícola: La alta demanda de tierras disminuyendo territorio para el cultivo y producción. Debido a la explotación de recursos naturales, modificaciones que sufre el suelo y aumento en la producción de desechos viene desencadenando un impacto ambiental negativo.

Existen muchos sectores productores de alimentos de origen animal, de los cuales uno de los más resaltantes es la acuicultura, puesto que en los últimos años se ha ido desarrollando rápidamente situándose como el motor para el crecimiento de la producción pesquera en el mundo. Hay por lo menos unas 600 especies acuáticas que se cultivan en cautividad dentro de diversos países con el fin de producir mediante sistemas con distintas finalidades

empleando distintos grados de uso de los insumos; sin embargo, se debe tener presente que el uso del medio en donde trabaja la acuicultura no es preservado de manera correcta por la producción acuícola extensiva, ya que esta no tiene la intención de realizar los cuidados necesarios para la eliminación de compuestos que generan impactos negativos al medio ambiente (nitratos, nitritos fosfatos, etc.) (Ministerio de la Producción – PRODUCE, 2020).

Ahora, otro de los problemas a los que se enfrenta tanto la agricultura como la acuicultura es la distribución del agua puesto que dentro del planeta existen zonas en las que se tiene gran abundancia del recurso, mientras que en otras zonas esta escasea haciendo que la equitatividad en la producción no sea la misma. Cuando se trata de agricultura se habla acerca de una demanda de por lo menos el 70% de las extracciones de agua dulce que se realizan en el mundo y un 90% de su consumo. Los procesos que demandan más consumo del agua extraída es el riego utilizando aguas subterráneas y la evapotranspiración de los suelos en los que se ha cultivado. Debido a estos métodos se ha registrado una disminución en el volumen de los acuíferos y la reducción del caudal en los ríos, también provocando que al menos un 20% de zonas de regadío, en todo el mundo, se hayan salinizado, haciendo dificultoso desempeñar acciones de agricultura (FAO, 2013).

Ahora, si se hace referencia a la acuicultura continental, específicamente referido a los cultivos que se realizan en sistemas extensivos, se caracterizan por un cambio del agua total por al menos unas 5 veces diarias, disminuyendo el porcentaje de los estanques en alrededor del 10 y 25% de agua, completando un recambio del 100% hasta terminar el día, razón por la cual se considera que este tipo de acuicultura es insostenible (Merino, Salazar, & Gomez, 2006).

Con respecto a los fertilizantes, ya sean orgánicos o inorgánicos, se puede decir que han tenido un aumento significativo en su consumo durante los últimos 10 años, considerando que su función es clave para alcanzar un mejor rendimiento en los cultivos. Estos se describen como compuestos que pueden tener un origen natural y artificial desarrollado para ser añadido como una opción adicional de nutrición o como medio de restauración de nutrientes presentes en suelos en los que ya se han cultivado. Un ejemplo de su uso se da cuando son adicionados en estanques acuícolas con el fin de promover el establecimiento de fitoplancton y niveles tróficos superiores que son muy beneficiosos cuando se trata de la alimentación que reciben los peces. Aunque también tienen un uso particular, estas son

empleadas para su aplicación directa en plantas con el fin de complementar su deficiencia nutricional (Intagri, 2023).

No obstante, debido a la falta de conocimiento previo respecto a la utilización de fertilizantes, siendo empleadas simplemente por el hecho de entender que brinda una producción exitosa, ha generado que se originan diversidad de problemas ambientales, siendo los más conocidos la variación de dinámica y flujo de nutrientes que son propios del suelo, la deforestación, salinización, modificación de nutrientes presentes en el suelo y la acumulación de ciertos elementos causantes de desbalances en la nutrición de plantas. Además, se debe considerar la contaminación del agua provocada por infiltración o escorrentía lo cual provoca que los fertilizantes lleguen a acuíferos haciendo que se modifique su concentración y transformándola en perjudicial para la salud de los seres vivos. Además de generar eutrofización de las aguas de corriente modificando la concentración de oxígeno (Nelson & Pade, 2008).

Es preciso mencionar que la acuicultura también se encuentra involucrada en parte de los agentes que producen daños ambientales y esto se evidencia al conocer los reportes respecto a las alteraciones y modificaciones que han venido sufriendo los suelos, además del desvío de los cauces de ríos y la destrucción de manglares para dar paso al establecimiento de pozos y jaulas para cultivos, provocando la sedimentación, el aumento de la turbidez del agua, entre otros. Asimismo, la producción de desechos como las excreciones metabólicas producen modificación la densidad y composición que presentan las especies originadas en esa zona (Merino, Salazar, & Gomez, 2006).

Ahora, su notoriedad se da aún más fuerte en aquellas zonas en donde se tiene un escaso flujo de corriente o en ecosistemas loticos, en donde se puede observar una anomalía en la acumulación de materia orgánica en la que se presenta diversidad de químicos junto con una disminución de los niveles de oxígeno provocados por la presencia de sedimentos y la liberación de sustancias provocando que el agua altere su composición convirtiéndola en no apta para el consumo de las personas (FAO, 2013).

Considerando todo lo descrito anteriormente, se pone en tela de juicio acerca de que si los métodos de cultivo acuícolas y agropecuario para la producción de alimentos es lo más

conveniente o presenten mayor sostenibilidad, haciendo necesario plantear nuevas e innovadoras estrategias con el fin de poder evitar mayores repercusiones con respecto a los impactos ambientales negativos; teniendo como alternativas a la agricultura ecológica, orgánica, la técnica RAS y el cultivo de peces y plantas a través de la acuaponía. Esta se desarrolla teniendo por finalidad la mejora del rendimiento productivo que poseen las especies animales y vegetales, además de conseguir una disminución en los impactos ambientales y la adquisición de múltiples beneficios ambientales y también económicos, convirtiéndolo en una gran opción para la producción sostenible de alimentos (FAO, 2013).

La acuaponía consiste en una técnica en la que se combina la hidroponía con la técnica RAS de acuicultura. La finalidad es utilizar los desechos que se producen junto con el componente hidropónico como materia prima para ser convertida a una biomasa vegetal dentro del componente hidropónico. Entonces, la acuaponía tiene dos beneficios principales: Mejora la rentabilidad y reduce los costos ecológicos requeridos en producción. Debido a las características que presenta, se considera que es una técnica correspondiente a producción limpia ya que no genera un contacto directo de las plantas con la tierra por lo que se disminuye el uso de controles de plagas y se produce mayor permisividad en el control de los peces puesto que se ubican dentro de un sistema de cultivo cerrado (Nelson & Pade, 2008).

Para poder desarrollar la acuaponía debemos conocer los principios básicos, que se pueden resumir en aprovechar la energía (desechos metabólicos) transformándola en productos comestibles, que genere un valor agregado, brindando de esta forma un ingreso económico extra, sin una elevada inversión (Nelson & Pade, 2008).

Cuando se desarrolla la acuaponía se tiene al componente acuícola del cual se origina materia orgánica que posteriormente pasa a transformarse en compuestos químicos que son aprovechados por el segundo componente el cual es aquel en donde se llegan a producir especies agrícolas. Dentro de este sistema se utilizan los desechos metabólicos que se producen por parte de los peces junto con aquel alimento que estos no han consumido, siendo transformados en residuos suspendidos y sólidos que posteriormente se transforman mediante los procesos de nitrificación bacteriana y mineralización convirtiéndose en nutrientes que se aprovecharán como fuente nutritiva destinada a las plantas, haciendo posible la reducción de la carga de compuestos en el agua (Delgado, Alarcón, Caluguillín, Noles, & Delgado, 2019).

Es correcto afirmar que la acuaponía logra conseguir muchas ventajas productivas cuando se trata del sector comercial; sin embargo, también se trabaja a nivel de investigación científica. Mediante la investigación es que se ha conseguido enriquecer respecto a aquellas especies que forman parte de la producción además de la relación simbiótica que se produce, debido a que al pertenecer a un sistema cerrado en donde el agua se recircula, es más factible realizar una evacuación y control de variables que se ven involucradas; aunque aún se tiene la necesidad de analizar las deficiencias nutricionales existentes en la parte hidropónica puesto que también presenta deficiencias, entonces para ello se muestra como alternativa la aplicación foliar de nutrimentos específicos con el fin de poder compensar la existencia de una baja disponibilidad de ciertos micronutrientes (FAO, 2013).

Como ejemplo de todo lo argumentado anteriormente se tiene el cultivo de tomate, en donde se practica la aplicación foliar de elementos como el potasio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre, consiguiendo incrementar las concentraciones de los elementos que se aplicarán en hojas y frutos de tomate. Y es que la fertilización foliar es muy importante y necesario pues se busca incrementar el rendimiento y mejorar la calidad de la parte hidropónica presentes en sistemas acuapónicos en las que se presentan y evidencia una concentración de nutrientes baja (Torres, 2017).

Es ya sabido que existe un movimiento denominado el triple impacto que busca realmente generar acciones basadas en generar ingresos económicos un valor económico pero aunadas de este el valor social y el valor ambiental, con la intención de poder realizar precisamente este cambio que todos buscamos. Esto se puede lograr a través de sistemas basados en el principio de economía circular, si llevamos esto a nuestro contexto de la producción agro acuícola estaríamos hablando de la producción circular, en este caso así podríamos llamar a la Acuaponía. Esta producción circular no es nada más peces y plantas sino que también integremos con otras ecotecnologías, otros manejos, otros sistemas de información con la intención de generar más integralidad en el sistema y reducir el uso de recursos, reducir en algunas ocasiones el costo de producción, e incrementar en algunas ocasiones el precio de venta o el valor agregado o el subproducto, en este sistema se basa en un sistema tradicional de apoyo que en el que damos alimento a los peces, ese alimento genera desechos en el agua que realmente no se aprovechan normalmente, pero en este caso se pasan por una serie de microorganismos y las plantas toman lo que dejan estos

microorganismos para su desarrollo y regresan el agua de los peces. Este es un ciclo cerrado se le pueden integrar más ecotecnologías como biodigestores, sistemas de energías renovables como la solar sistemas, composteos como de larvas de insecto de lombrices y generar así diversos valores dentro del campo de la salud agroturismo e integración social.

De acuerdo al contexto y a múltiples investigaciones se ha podido observar que es una alternativa viable de un nuevo negocio y que es factible el desarrollo de esta simbiosis entre estos dos sistemas, sin embargo, requieren afinaciones constantes en los micronutrientes para elevar la calidad del producto (agrícola) y pueda ser competitivo con sus semejantes en el mercado, es por ello que se hace necesario la búsqueda de métodos que permitan mejorar el sistema sin desvirtuar los beneficios básicos de estos y, que tampoco se eleven los costos, es por ello que la fertilización foliar es una alternativa viable, con la cual se realizaran aplicaciones foliares de micronutrientes que permitan elevar la producción, uniformidad y precocidad de los productos agrícolas empleados en esta simbiosis denominada Acuaponía.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿En qué medida influirá la fertilización foliar en sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022?

1.2.2 Problemas específicos

¿En qué medida influirá la fertilización foliar en el rendimiento de *Lactuca sativa* (lechuga) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022?

¿En qué medida influirá la fertilización foliar en el rendimiento de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022?

¿En qué medida influirá la fertilización foliar en la calidad de agua de un sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la fertilización foliar en sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto de la fertilización foliar en el rendimiento de *Lactuca sativa* (lechuga) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022

Determinar el efecto de la fertilización foliar en el rendimiento de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022

Determinar el efecto de la fertilización foliar en la calidad de agua de un sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

1.4 Justificación de la investigación

Dentro del sector de producción de alimentos se desarrollan los sistemas convencionales como lo son la acuicultura, ganadería o agricultura, en donde es esencial el uso del agua para múltiples procedimientos, hechos que hacen que cada vez el agua escasee aún más, algo que puede ser perjudicial a largo plazo.

Los sistemas acuapónicos es una red en donde integran diversas especies, que en un trabajo mancomunado se llegan a beneficiar todas ellas, logrando de esta forma generar un sistema que surge como alternativa de solución a las problemáticas de los sistemas convencionales de producción alimenticia, uno de los más grandes beneficios es que el recurso hídrico es reutilizado, disminuyendo considerablemente Los costos de operaciones de este, así mismo se reduce los desechos emitidos al medio ambiente en forma de compuestos nitrogenados. Asimismo, es muy importante porque genera productos vegetales que poseen un valor agregado considerándose como “productos orgánicos” y evita usar químicos como por

ejemplo los fertilizantes ayudando con una mayor ecoeficiencia con los suelos y sus nutrientes.

La técnica de la acuaponía viene a ser muy innovadora actualmente debido a que, en comparación con las técnicas tradicionales, viene a ser mucho más moderna y rentable. Gracias a su implementación se gana mayor eficiencia en la cosecha con respecto a la calidad, peso o la cantidad, además de aumentar la productividad en el trabajo y con ello sus beneficios económicos.

Con respecto al pez que es más utilizado dentro de la técnica de la acuaponía se encuentra la Tilapia también conocida como "*Oreochromis spp*", puesto que su ciclo de crecimiento es corto por lo que su etapa de aprovechamiento se da más rápido y ello se considera más rentable, asimismo esta especie es tolerante a las fluctuaciones drásticas en la calidad que posee el agua y muestra resistencia ante un nivel bajo de oxígeno presente.

Por su parte, en plantas como lo es la lechuga (*Lactuca sativa*), albahaca (*Ocimum basilicum*) o la espinaca (*Spinacea oleracea*) no se requiere gran requerimiento de nutrientes y su establecimiento puede darse dentro de sistemas acuapónicos simples.

Hay diferencias presentes en el valor comercial que poseen las hortalizas producidas dentro de un sistema acuapónico en comparación con una producida dentro de cultivos tradicionales puesto que los primeros son considerados como cultivos orgánicos ya que se encuentran libres de fungicidas, pesticidas y demás químicas. Asimismo, su producción permite mantener el equilibrio ambiental debido a que no se emplean productos que atenten contra el ecosistema, entonces la contaminación en el agua es menor o inexistente. Además, el agua empleada en esta técnica puede ser reutilizada permitiendo que el consumo sea mucho menor en comparación con otros sistemas.

Debido a su notable optimización, se debería emplear este sistema dentro de los trabajos de producción que se desarrollan en todo el país.

Por todas las razones dadas a conocer es que se justifica el desarrollo de este proyecto pues lo que se busca es poder innovar a través de una tecnología que será adaptada al medio local y sea adecuada a los agricultores y acuicultores de todo el País. Dentro del desarrollo de este trabajo se diseñará, construirá y evaluará el correcto funcionamiento de un sistema

acuapónico prototipo que se aplicará en el cultivo de la lechuga y la tilapia gris tratando de conseguir una maximización de la producción mediante la fertilización foliar.

1.5 Delimitaciones del estudio

El estudio se llevará a cabo en la zona de paraíso, en el distrito de Santa María, La investigación se sostuvo por el periodo de 6 meses, comprendidos del periodo de enero a junio.

1.6 Viabilidad del estudio

Esta investigación se hace viable porque está acorde a las diversas requerimiento que se requieren para llevarse a cabo, además cuenta con presupuesto que será financiado por el tesista a lo largo de todo el proceso de la investigación, contará con infraestructura, materiales y equipos que serán necesarios para el proceso productivo y la colecta de información para poder medir las variables a investigar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Pinedo (2022) en su trabajo de investigación al cual denomino “Fitorremediación de aguas no consuntivas de piscigranja con *Oreochromis niloticus*, mediante acuaponía con *Eryngium foetidum L*, Morales, 2021” detallando lo siguiente:

Desarrollada con la intención de establecer una evaluación de la fitorremediación de agua no consuntivas correspondientes a una piscigranja con *Oreochromis niloticus* empleando la acuaponía con *Eryngium foetidum L*. Para su desarrollo ha sido necesaria utilizar aguas no consuntivas, las cuales son aguas que una vez empleadas en un proceso aún pueden ser utilizadas en otro proceso, es más, pueden ser devueltas a la fuente de la que la extrajeron aunque ello no implica que aun mantenga la composición original. Tras desarrollarse la investigación se pudo determinar que la CE original equivale a unos 118,7 umho/cm, mientras que al aplicarse el tratamiento se obtuvieron valores de 84.24, 85.20 y 86.86 umho/cm. Asimismo, con respecto a su turbiedad; el CE inicial fue de 346,45 UNT encontrándose diferencias post tratamiento obteniendo los valores de 18.400, 19.400 y 20.800 UNT; además de un SST de 852 mg/L el cual ha sido alterado al obtener 13, 14 y 15 mg/L y un DBO que se vio reducido bajando desde un 286 mg/L inicial a 21, 23 y 24 mg/L final. Con respecto al PO_4^{3-} se observó que mantuvo un valor por debajo del 0,009 mg/L, la totalidad de fosforo disminuyó desde los 4.302 mg/L a < 0,010 mg/L, la temperatura tuvo una variación de +1°C y el pH vario levemente de los 7,75 a 7.25, 7.37 y 7.52. El *Eryngium foetidum L* presentó la longitud de raíz inicial de 1 cm el cual aumento al conseguir los valores de 6.7, 7.1 y 7 cm y por último, el número de hojas que alcanzó longitudes de 6.4. 6.3 y 6.5 cm. Valores que permitieron llegar a la conclusión de que la

acuaponía con *Eryngium foetidum L* presenta características que la convierten en una opción para rectificar las aguas no consuntivas.

Osorto et al. (2021) en su investigación denominada “Producción de lechuga en acuaponía con adición de fertilizantes orgánicos líquidos y bacterias promotoras de crecimiento” manifiesta que:

En la actualidad los sistemas acuáticos se han convertido en sistemas de producción de alimentos viables y como una opción de producción sostenible, esta investigación centró sus objetivos en evaluar distintas formas de presentación de fertilizantes orgánicos asociadas con bacterias que promovían el desarrollo del cultivo agrícola, estos fueron suplementados al agua residual del cultivo de Tilapia empleando un sistema de película nutritiva (NFT) utilizando como producto a producir la lechuga, esto se comparó con un sistema convencional de hidroponía, y a la vez con un sistema de producción orgánica pero en suelo. En los resultados se pudo evidenciar que el fertilizante f1 logró obtener valores predominantes en el peso fresco de la raíz mientras que en el otro fertilizante se obtuvo un mayor peso de las hojas. En conclusión, se pudo observar que los cultivos acuapónicos que fueron suplementados con fertilizantes orgánicos y rizobacterias obtuvieron un mejor rendimiento y su producción se hizo más sostenible.

Reyes et. al. (2020) en su trabajo de investigación denominado “Tomate de calidad (*Solanum lycopersicum L.*) producido en acuaponía complementado con fertilización foliar de micronutrientes” manifiesta que:

La investigación centró sus esfuerzos en evaluar si la aplicación foliar producía efectos positivos en el rendimiento de tomate, emplearon dos tipos de fertilizantes con diferentes concentraciones de micronutrientes, se evaluaron sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, pH, entre otros parámetros que permitieron determinar la calidad del producto. En los resultados pudieron evidenciar que no hubo cambios significativos en ninguno de los parámetros evaluados, según menciona el autor se puede evidenciar que en las condiciones que se realizó el experimento no fue necesario la aplicación de nutrientes vía foliar, llegando a concluir en este estudio que la aplicación de micronutrientes de manera foliar no afectan negativa ni positivamente la calidad química del fruto de tomate..

López (2020) en su investigación denominada “Evaluación de un sistema acuapónico de pequeña escala, para la producción limpia de tilapia roja (*Oreochromis sp.*), cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y rúgula (*Eruca vesicaria sativa*)”. Detalla que:

Que la finalidad de este trabajo es poder hacer frente a la contaminación y las modificaciones que sufren tanto los suelos como las fuentes de agua, todas estas afectadas debido al constante crecimiento del sector agropecuario, el mismo que va correlativamente con el crecimiento de la población. Tales son los motivos para poder desarrollar un planteamiento sobre la estrategia de cultivo como lo es la acuaponía, siendo un sistema que consta de la integración de la acuicultura en conjunto con la hidroponía, para desarrollar la producción de alimentos de origen vegetal y animal, disminuyendo los costos de inversión y aminorando los efectos en el ecosistema. La acuicultura de Colombia se encuentra representada por la producción de cachama (*Piaractus brachypomus*) y tilapia (*Oreochromis sp.*). Mientras que el vegetal con el que se trabajó fue la rúgula también conocida como *Eruca vesicaria sativa*, vegetal que se está cultivando últimamente en tierras colombianas y su producción es rentable. El desarrollo de este proyecto se da buscando conseguir establecer un sistema de producción limpia de la cachama blanca, tilapia y la rúgula. Para proceder con el proyecto fue fundamental analizar a qué escala se producen los cultivos junto con la calidad que presenta el agua. El proceso conlleva la elección aleatoria de tres diseños en donde se establecen tres sistemas acuapónicos de tipo vertical en invernadero. La cantidad de producto empleado corresponde a 25 tilapias rojas/sistema, 180 plantas/sistema de rúgula y 60 Cachamas blancas/sistema, en donde se estableció la medición de parámetros de producción y crecimiento (con respecto a la *E. v. sativa*) tanto para la cosecha “Baby leaf” como para la final. Una vez determinados los datos respecto a nutrientes y las medidas que corresponden tanto a plantas como a peces, se emplearon para su sometimiento en pruebas Shapiro-Wilk, ANOVA y Tukey contando con un nivel de significancia del 5% y empleando el programa R. Al concluir con el proceso se pudieron conocer los siguientes resultados: Respecto al rendimiento del *O. sp.* se obtuvo 13,4 kg.m⁻³, mientras que el PF tiene un valor de 557 g.ind⁻¹, el GP es de 410 g.ind⁻¹, el TDC tiene 2,36 g.día⁻¹, el TCE 0,79 %.día⁻¹, un K que posee un valor de 2,65, EL %S correspondiente a 94,7% y finalmente un FCA equivalente a 1,73 g.g⁻¹. Por su parte, con el *P. brachypomus* obtuvieron los siguientes datos: En el rendimiento se obtuvo 15,6 kg.m⁻³, mientras que el PF tiene un valor de 261 g.ind⁻¹, el GP es de 248 g.ind⁻¹, el TDC tiene 1,39 g.día⁻¹, el TCE 1,70 %.día⁻¹, un K que posee un valor de 2,71, EL %S correspondiente a 100% y finalmente un FCA equivalente a 1,74 g.g⁻¹. Seguidamente,

con respecto al E. v. sativa, se pudieron obtener valores distintos entre las réplicas correspondientes a la CF y CBL. Finalmente, se concluye que se han obtenido mayores rendimientos en O. sp. en comparación con el P. brachypomus considerándose la cantidad de individuos perteneciente a cada ejemplar de cultivo.

Martinez (2020) en su trabajo de investigación denominado “Sistema acuapónico para la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*), Santa Ana – 2020” manifestando que:

La presente investigación evaluó un sistema acuapónico con recirculación de agua para la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*). El factor en estudio fue la densidad poblacional de tilapia más la densidad poblacional de lechuga en una proporción de 1:2, es decir, por cada pez en el sistema se colocaron dos plantas, siendo los tratamientos: 8 peces + 16 lechugas (T1:P8L16), 10 peces + 20 lechugas (T2:P10L20) y 12 peces + 24 lechugas (T3:P12L24) por metro cúbico de agua. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A.) con 24 repeticiones. El sistema acuapónico implementado es eficiente para la producción de los componentes vegetal y acuícola obteniendo valores promedios en la producción de biomasa de 3 Kg de lechuga y 2 Kg de tilapia, en 45 y 60 días, respectivamente. Dentro de la investigación el tratamiento 2 (P10L20) obtuvo los mejores promedios para la producción de lechuga obteniéndose en: altura de planta a los 30 días (18,1 cm) y 45 días (30,07 cm); incremento de altura de planta a los 30 días (10,58 cm; 58,45%) y 45 días (22,54 cm; 74,99%); número de hojas por planta a los 30 (12,04 hojas) y 45 días (17,98 hojas); ganancia de número de hojas por planta a los 30 (8,04 hojas; 66,78%) y 45 días (13,98 hojas; 77,75%); y peso promedio de planta a los 45 días (129,67 g). En la tilapia existe diferencia estadística en las variables (peso y longitud), en donde el tratamiento 1 (P8L16) presentó promedios superiores en: longitud del pez a los 60 días (24,23 cm); incremento en longitud del pez a los 60 días (7,10 cm; 29,26%) y peso promedio del pez a los 60 días (175,2 g). En la variable incremento del peso del pez a los 60 días no hay diferencias estadísticas, pero el tratamiento 1 (P8L16) tiene el promedio más alto (78,58 g; 44,85%). El tratamiento 3 (P12L24) tiene los valores más bajos de manera individual tanto en peces orgánicos y de calidad tanto de origen animal como vegetal en zonas rurales y urbanas con limitaciones en la disponibilidad de recursos.

Delgado, et al. (2019) en su investigación denominada “Sistemas acuapónicos para el desarrollo sostenible de las zonas rurales de Manabí” describe que:

Inicia su investigación dejando en claro que la acuaponía constituye un sistema multitrófico integrado que tiene por particularidad combinar distintos elementos correspondientes a recirculación de la hidroponía y acuicultura. El objetivo general que se presenta es poder realizar una evaluación de la producción que se da en dos sistemas acuapónicos y demostrar que poseen sostenibilidad para las zonas rurales de Manabí. El primer sistema desarrollado está estructurado con una proporción de dos plantas por pez, en esta se ha establecido un cultivo de 60 plantas de lechuga y 30 tilapias (2:1); seguidamente se tiene un segundo sistema correspondiente a capa de nutrientes (NFT) que posee una proporción de una planta por pez, en este caso una planta cultivada de apio o lechuga por cada tilapia del Nilo (30 en total). Se procedió a analizar parámetros físicos y químicos que corresponden al agua presente en los dos sistemas pudiendo determinar que mostraban la condición para establecer la producción de alimentos, entre los factores analizados se encuentra la acidez, el color, la turbidez, la cantidad de calcio, amonio, nitratos y la dureza que presenta el carbonato. Aunque también hubo factores que no se presentaron entre los rangos correctos, como es el caso de los nitritos, fosfatos y el oxígeno disuelto. No obstante, ello no fue impedimento para garantizar la supervivencia de la totalidad de producto cultivado. Posteriormente se realizó el cálculo de la TC en lechugas y tilapias logrando demostrar que los sistemas acuapónicos muestran sostenibilidad en la práctica de producción, determinando también que el sistema de raíz flotante el más conveniente en cuanto a los resultados.

Giró (2008) en su trabajo de investigación denominado “Evaluación del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa L.*) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa Agustina Xolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu” encontró que:

Una de las mejores y más convenientes actividades de producción es la acuaponía debido a que su producción se basa en la crianza y comercialización de peces y plantas que poseen alto valor nutricional. Aquí se desarrolla un sistema de circulación de agua en la que se combina la hidroponía con la acuicultura permitiendo dar paso a un cultivo sin tierra. Al desarrollarse esta investigación se buscó evaluar el rendimiento que brinda el cultivo de lechuga de la variedad Paris Island Cos en donde se establece un sistema de cultivo con raíz flotante. Seguidamente se obtienen los resultados que revelan que el sistema

establecido brinda un rendimiento mayor respecto al peso fresco evidenciándose que hay una diferencia considerable ($P < 0.05$) entre los cultivos.

Posteriormente se realizó un análisis químico foliar con el fin de determinar su composición respecto al hierro, fósforo y calcio que son aportados gracias a las hortalizas que se han cultivado mediante el sistema acuapónico, a diferencia del sistema tradicional que se realizaba. La hortaliza utilizada responde a su elección debido a su capacidad nutritiva y su conveniencia económica. Esta se establece como una gran fuente de minerales fundamentales dentro de la alimentación de las personas. Con respecto a los resultados obtenidos, se ha determinado que hay diferencia significativa entre el contenido de fósforo y calcio siendo de $P < 0.05$ haciendo las respectivas comparaciones entre métodos empleados. Mientras que en contenido de hierro no hubo tanta diferencia ($P > 0.05$).

2.1.2 Investigaciones nacionales

Cisneros (2021) en su tesis denominada “Producción acuapónica de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) con adición de nutrientes deficitarios en el sistema” describe que:

La investigación centró sus esfuerzos en poder determinar en qué nutrientes era deficiente el sistema acuapónico, para de esta forma suplementarse y poder evaluar si la adición de estos mejoraba la calidad del producto agrícola sin afectar de manera negativa el desarrollo de la tilapia. El trabajo de investigación empleó para el sistema acuapónico una carga inicial de 5 kg por metro cúbico de tilapias con una relación de 20 lechugas en cama flotante, para poder comparar los resultados obtenidos se empleó un sistema hidropónico con la misma cantidad de lechugas. La investigación se llevó a cabo en tres etapas, cada etapa Tuvo una duración de 30 días, en la primera no hubo una adición de nutrientes, en la segunda se adicionó los nutrientes a partir del día 15, y en la tercera la adición de nutrientes fue desde el inicio de la experimentación. Para el sistema acuícola se empleó una dieta de 35% de proteína con la que se alimentó a los peces, empleando un porcentaje de alimentación de la biomasa de un 3%. En los resultados se pudo evidenciar que en la etapa 3 fue donde se obtuvo mejor tasa de crecimiento para los peces, sin embargo, en la etapa 2 fue donde se llegó a obtener una mejor producción de lechuga. Se llega a concluir que el sistema acuapónico con adición de nutrientes no tiene ningún efecto negativo en las especies acuícolas y tiene beneficios en el rendimiento agrícola.

Huallpa (2021) en su trabajo de investigación denominado “Balance de Biomasa de entre la tilapia *Oreochromis niloticus* y pepino dulce *Solanum muricatum* en sistema de acuaponía por NFT (nutrient film technique) que genera rentabilidad económica, Tacna 2017” manifestando que:

Se desarrolla con la finalidad de conocer el balance entre la biomasa correspondiente a cada una de las especies, establecidas dentro de un sistema de cultivo acuapónico mediante NFT, buscando conseguir una buena rentabilidad económica. Otra finalidad a la cual la investigación trato de llegar es producir biomasa de pepino dulce empleando los efluentes originados por efecto del cultivo de tilapia empleando bacterias establecidas en biofiltro y determinar qué tan rentable es este proceso. Con respecto a la metodología empleada, el trabajo pertenece al tipo aplicado y experimental, en donde se han establecido cuatro tratamientos (T). Cada tratamiento tiene una proporción, por ejemplo, en el T1 se tiene 90 peces para 30 plantones, en el T2 hay 60 peces para 30 plantones, en el T3 hay 30 peces para 30 plantones y finalmente un T4 establecido por un grupo de control para 30 plantones con sustancia nutritiva hidropónica. Luego se pudieron conocer valores respecto a la talla media obtenida en el T1 de 84.05 cm seguido de un T2 equivalente a 83,73 cm, un T3 de 83,2 y finalmente un T4 con valor 45,5 cm. Por su parte la biomasa perteneciente a los frutos arrojó los siguientes valores de acuerdo con los tratamientos: En el T1 se obtuvo 168.16 g, seguidamente en el T2 se obtuvo un 135,2 g, en el T3 hubo 0 g y finalmente en el T4 se obtuvo 190,1 g. Ahora, estableciendo la evaluación de la calidad del agua (utilizando un equipo multiparámetro FI 9829 HANNA) se pudo conocer que se encuentra en el estado óptimo para el cultivo de pepino dulce y tilapia. Las condiciones que presentan demuestran una T° de 25,6°C, siendo considerada como apta. Finalmente se llega a la conclusión de que, comparando los cuatro tratamientos se determina que el T1 se posiciona como la opción más rentable.

Delgado (2020) en su trabajo de investigación denominado “Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia (*Oreochromis* sp.) en acuaponía” encontraron que:

Detrás del desarrollo de esta investigación se tiene por finalidad conocer el comportamiento que presenta un sistema acuapónico respecto a la calidad de los efluentes originados gracias al cultivo de tilapia, además de reconocer qué tan factible es producir cultivos hidropónicos. Proyecto desarrollado dentro del CINPIS, el cual le pertenece como centro de investigación a la Universidad Nacional Agraria La Molina, en donde se

estableció un sistema de recirculación constante y cerrado en la que el agua recircula analizando tres unidades puestas en experimentación. Una de estas es el tratamiento de efluentes en donde se produce el biofiltro 0.68 m³ y la filtración de sólidos 0.60 m³, segundo se tiene el cultivo de peces (1.2 m³) y último el cultivo hidropónico (0.45 m³). Dentro de las características se presenta que el volumen total es de 2.93 m³ y la reposición de agua es del 10% realizada cada quincena. Los peces con los que se trabajó fueron tilapias, a una densidad de 7,64 kg/ m³, en donde el pienso que se estableció fue de 42% de concentración proteica durante tres meses. Asimismo, se emplearon 90 plántulas de lechugas del tipo cressa correspondiente a la variedad Bohemia (*Lactuca sativa*), aplicando una relación de densidad de 20 unidades/m². Es preciso mencionar que se trabajó con la técnica balsa de raíz flotante. En el transcurso de los trabajos de tres meses se evidenció el crecimiento de los peces en media de 1.04 g/d, consiguiendo una densidad final equivalente a 12.92 kg/m³ y la tasa de sobrevivencia fue del 95,6%. Dentro de los 90 días de cultivo, se evidenció que en los 51 días se consiguió el mayor aumento de peso (el 48.83%) y a su vez un menor FCA siendo equivalente a 2,27. Ahora, respecto al vegetal (lechuga) se pudo conseguir un producto de 2.18 kg/m², en la que se consiguió un aumento de peso medio de 2.76 g/d y la tasa de sobrevivencia fue del 100% pasado los 39 días de cultivo. Los nutrientes adheridos a las hojas de lechuga mostraron una buena absorción siendo los siguientes porcentajes los correspondientes a estos: Potasio un 7,95%, Nitrógeno en 4,34%, fósforo en 0,57% y finalmente el Hierro en 322 ppm. Los resultados del sistema evidenciaron una producción de 1.87 kg de peces y 9.69 kg de lechuga junto con un FCA de 3.18 durante 39 días de cultivo.

Ascate y Céspedes (2019) en su trabajo de investigación “Efecto de la tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa* en el crecimiento de las especies y en la disminución de nitrógeno del agua” menciona que:

Desarrollada con la intención de determinar la efectividad de la tasa de carga hidráulica correspondiente a un cultivo acuapónico de *Lactuca sativa* y *Oreochromis niloticus* determinando sus efectos en el desarrollo productivo de las especies presentes dentro del sistema y a su vez observar como este sistema disminuye los niveles de nitrógeno presente en el cuerpo de agua. Para el proyecto fue necesario contar con juveniles de tilapia *O. niloticus* junto con lechuga perteneciente a la variedad Cressa que han sido cultivadas en un sistema hidropónico. La particularidad en este estudio fue la utilización de tres

tratamientos con carga hidráulica distinta, siendo estas de 6, 8 y 10 m día⁻¹, mientras que los controles con los que se trabajó fue la tasa de carga hidráulica del sistema de recirculación perteneciente al cultivo acuático junto con la carga hidráulica del cultivo hidropónico. Finalmente se pudo determinar que el mayor crecimiento se consiguió con la tasa de carga hidráulica de 8 y 10 m día⁻¹, mientras que en la tasa de carga hidráulica de 6 y 10 m día⁻¹ no hubo gran efecto para el crecimiento de la *L. sativa*.

Morales (2019) en su trabajo de investigación “Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico prototipo, aplicado a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*)” menciona que:

Desarrollado con la intención de establecer un prototipo de sistema acuapónico en donde se cultive la tilapia gris junto con la albahaca determinando la operatividad que estas tengan en base al cultivo de estas. Metodológicamente es una investigación empírica en donde se trabaja con tres sistemas, dos de ellos diseñados de forma artesanal para hacer pruebas respecto a observar cómo respondían las unidades biológicas implantadas en ese sistema. Posteriormente se desarrollaría un tercero con evidentes mejoras respecto a su operatividad aplicado al mismo cultivo. Con respecto a los resultados, se pudo conocer valores correspondientes al primer diseño (considerado como piloto) en donde se evaluó el nivel de productividad de la albahaca, la tilapia y la calidad que presentaba el agua teniendo por datos: La tilapia inició con un peso de 3.88 g y finalizó el proceso con un peso de 10.69 g, mientras que la albahaca inicia con un peso de 1.2 g y finaliza el proceso con un peso de 245.3 g, mientras que la calidad del agua se estabilizó al finalizar el cultivo provocando ausencia de mortandad. En el segundo cultivo (en donde se establece el experimento) se estableció una producción doble de albahaca dentro de un mismo cultivo 2 corridas de albahaca/tilapia pudiendo conocer que en un principio la tilapia pesaba 6.08 g y terminó adquiriendo un peso de 21.57 g. Ello conlleva a concluir que el prototipo de sistema ha mostrado factibilidad por lo que puede ser establecido para producción.

Moreno y Zafra (2014) en su investigación denominada “Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia” menciona que:

Se desarrolló con la finalidad de evaluar el crecimiento de lechuga en base a los efluentes producidos por el cultivo de tilapia. El sistema acuapónico presentó un diseño en donde se ubicaron cinco tubos de PVC con 50 lechugas/tubo empleando como técnica la NFT. Establecido el diseño se dispuso a desarrollar dos tratamientos; El primero (T1) presenta agua enriquecida con 50 tilapias rojas y en el segundo (T2) se tiene agua con 25 tilapias

rojas durante un tiempo de 90 días consiguiendo los siguientes resultados: En el primer tratamiento se consiguió una longitud de hoja de 16,6 cm y una longitud de raíz correspondiente a 16,4 cm; por su parte, en el segundo tratamiento se consiguió una longitud de hoja de 11,1 cm y una longitud de raíz correspondiente a 16,3 cm. Como es evidente, en el T1 se consiguió un mayor desarrollo en ambos parámetros medidos. Ello conlleva a concluir que el T1 es más conveniente al presentar un mejor rendimiento productivo de la especie agrícola en el sistema acuapónico.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Producción acuícola y acuapónica

Las especies acuícolas con las que se trabaja, usualmente, en territorio peruano son las truchas, langostinos y conchas de abanico, siendo seguidos por otras especies como es el caso de los pacos, paiches o tilapias. De acuerdo con el Ministerio de producción, durante el 2020 se evidenció que un 58% del total de cosecha peruana correspondió a especies marinas, siendo la diferencia (42%) correspondiente a especies continentales. Los territorios en donde se alcanzó mayor producción fueron tres (Tumbes, Puno y Piura) llegando a producir cerca de 109 mil toneladas de recursos acuícolas (Ministerio de la Producción – PRODUCE, 2020).

Ahora, respecto a los recursos que se producen a mayor escala para exportación se encuentran los langostinos y las conchas de abanico mientras que recursos empleados en consumo interno se tiene a las truchas y otras especies como los pacos, tilapias, paiches o gamitanas (Ministerio de la Producción – PRODUCE, 2020).

Como se evidencia, la importancia de la acuicultura es considerable puesto que sirve como fuente de ingresos para grandes empresas provocando que se requieran de más puestos de trabajo; ello también se ve reflejado en pequeñas empresas, comunidades nativas y campesinas; conformando una actividad económica importante.

Para hablar de acuaponía se debe entender que, para poder llevar a cabo el proceso acuapónico, es necesario comprender que lo que ocurre en el medio natural se llevará de la misma forma en nuestros medios de cultivos artificiales, se debe tener en cuenta que a mayor volumen de producción el sistema requiere cálculos más precisos, entre ellos se

tiene que considerar el cálculo de dimensionamiento para permitir que exista un equilibrio entre todos los elementos. (Delgado, 2020)

Para que el sistema no falle existen reglas básicas, en esencia se debe de considerar que el agua es reutilizada mediante un sistema de recirculación de fluido, esta es la esencia de la acuaponía, ya que a través de ello permite el movimiento de los compuestos aprovechables por las plantas, una adecuada oxigenación del medio, una adecuada disminución de los sólidos totales disueltos, así mismo un equilibrio adecuado dentro de los parámetros físicos químicos y biológicos, logrando de esta forma que los microorganismos y las plantas que participan dentro de este sistema puedan mostrar su máximo potencial. (Delgado, Alarcón, Caluguillín, Noles, & Delgado, 2019)

En la actualidad el dimensionamiento aún no permite trabajar con altos volúmenes de producción, ya que el sistema requiere afinaciones para que este no genere efectos negativos en ninguna de las especies, los escenarios comunes que se llegan a presentar son el que se emplee densidades bajas de especies acuícolas, de esta forma evitan que exista un colapso dentro del sistema, así mismo se tiene bien medida el porcentaje de alimentación para evitar problemas por sobre alimentación generando desechos que después elevan los niveles de compuestos nitrogenados, afectando de manera negativa en las especies agrícolas, así mismo también genera elevaciones en el consumo de oxígeno, e incluso existe una elevación en gases nocivos presentes dentro del cuerpo de agua a través de la descomposición de la materia orgánica (Nelson & Pade, 2008).

Así como es necesario el conocer las necesidades de las especies acuícolas, se hace de imperativa necesidad El conocer los requerimientos de las plantas, en este caso se habla de nutrición vegetal, así como labores complementarias que estas requieran para su correcto desarrollo, es necesario que exista un equilibrio nutricional en las plantas ya que así como en los animales un desbalance de estos nos estaría ocasionando un bajo aprovechamiento de nutrientes y un pésimo desarrollo en las plantas (Nelson & Pade, 2008).

En esencia el sistema acuapónico tiene por finalidad dar un valor agregado al reúso del agua generando un ingreso a través de las plantas u hortalizas que se pueden llegar a producir, de esta forma se evite el abuso de fertilizantes químicos, así mismo se evita que existan más contaminantes que se segreguen al medio ambiente ya que a través de este

sistema prácticamente se elimina estos desechos Y si el agua tiene que regresar a su medio natural se iría sin ningún compuesto que desvirtúe el medio natural (Nelson & Pade, 2008).

Otro beneficio que te entrega el sistema cuerpo único es el menor uso de espacios o áreas de terreno, es importante Resaltar que al trabajar en estos sistemas obtenemos dos beneficios productos proteicos y a la vez productos vegetales con un valor agregado de orgánicos. Se debe entender que como todo negocio siempre hay una inversión inicial elevada sin embargo en el largo tiempo de la producción se obtienen ganancias que permiten sustentar estas inversiones (Pinedo, 2022).

Así mismo se ha visto que hay un mayor ingreso económico a través de la implementación de energías limpias como la de los paneles solares, es de conocimiento masivo que la implementación de estos sistemas tiene un elevado costo sin embargo en el tiempo que se dé la producción se puede recuperar la inversión y obtener sustanciales ganancias. Otro detalle que debe tenerse en consideración son los parámetros que se miden dentro del cuerpo de agua, los cuales deben mantenerse dentro de rangos ya que existen tres especies que se dependen de ello, la primera los microorganismos que se encargan de transformar los compuestos nitrogenados en compuestos aprovechables para las plantas, segundo las especies acuícolas y tercero las especies agrícolas (Hennecke & Rettenmaier, 2014).

Dentro de los detalles a considerar para poder llevar a cabo la acuaponía, es necesario conocer qué especies pueden trabajar de manera conjunta, tanto en las especies acuícolas como en las agrícolas, ya que algunas especies de acuicultura no son compatibles con algunas especies agrícolas y muchas veces no se obtienen buenos resultados en cuanto a los parámetros productivos de estas (Morales, 2019).

2.2.2. Acuicultura y medio ambiente

En nuestro país es común observar la generación de CO₂ por causas de los parques automotores, es por ello por lo que en zonas en donde existe una abundancia de transporte público las temperaturas son más elevadas, siendo este un claro ejemplo de que el calentamiento global se debe a estos compuestos (FAO, 2013).

Entre las causales o efectos que tienen estos gases son la elevación de la temperatura ya que estos no se pueden disipar tan fácilmente, daño a la capa de ozono, lo cual es un tema ya conocido, se puede observar el daño que sufren los polos norte y sur, así mismo también como las estaciones del año ya no son tan marcadas como antes, es decir las temperaturas de una estación a otra son casi similares, ocasionando que el verano no se perciba como tal así como era en fechas anteriores, el cambio de temperatura de las corrientes marinas los cuales son a causa de la variación que ocasionan el derretimiento de los polos, el exceso de lluvias y la escasez de estas son una de las tantas consecuencias estas consecuencias mencionadas de las que se vive día a día y que se conoce como calentamiento global. Al existir todos estos problemas ocasionados por el cambio climático se genera una preocupación que día a día crece, por la cual la mayoría de los profesionales vinculados al abastecimiento de productos de primera necesidad han tenido y están en la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan adaptar los sistemas de producción a estos cambios climáticos (FAO, 2013).

Este cambio climático ocasionará que los sistemas de producción se vuelvan ineficientes, ya que como se puede ver en la actualidad los rendimientos son más bajos, y esto se debe a múltiples factores, como por ejemplo el clima, plagas, disponibilidad del recurso hídrico, entre otros factores que tienen un efecto negativo en la productividad. Uno de los factores más importantes es la baja disponibilidad del recurso hídrico, esto se debe a que el consumo del recurso hídrico está más enfocado en su consumo para la población de manera directa, es por ello que para la agricultura su disponibilidad es medida, siendo esta una de las razones por las cuales los agricultores deben de adaptarse tecnificando de manera adecuada sus sistemas de producción para hacer más eficiente el uso de este recurso, es por ello que la mayoría de estos ha abandonado el sistema de producción convencional migrando a los sistemas tecnificados (FAO, 2013).

Esta problemática no se encuentra aislada a los sistemas de producción agrícola y zootécnico, más sino también se vincula al sistema de producción acuícola, el cual también genera gastos de recurso hídrico y contaminantes como el CO₂, si los sistemas son convencionales o también denominados extensivos tienen un nivel de eficiencia muy bajo y un gasto del recurso hídrico muy elevado, así mismo los sistemas intensivos tienen un gasto en los requerimientos de energía eléctrica, ocasionando que exista un consumo

elevado de kilowatts y esto genera un impacto ambiental ya que se convierte en kilogramos de CO₂ producidos (FAO, 2013).

Ciertamente todos estos problemas presentes nos hacen meditar en cómo podemos reducir estos consumos y subproductos que contaminan, es aquí donde las Naciones Unidas tomaron un enfoque de sustentabilidad, en el cual manifiestan que se deben adoptar medidas de producción de alimentos con un menor impacto ecológico y que estos sean sostenibles en el tiempo, es por ello que los sistemas de producción deben de practicar nuevas alternativas dentro de sus procesos para que minimicen los impactos generados al medio ambiente y reduzca sustancialmente el uso del recurso hídrico (FAO, 2013).

Siendo esta la premisa se debe adoptar un sistema de recirculación el cual está orientado a un sistema de economía circular, el cual tiene por principio el aprovechar todos los recursos que se puedan generar dentro de un proceso productivo.

Producto del aumento considerable y constante de la población en el planeta, el sector agropecuario se ha incrementado correlativamente en los últimos 10 años, teniendo por fin dar respuesta a la alta demanda de alimentos. Visto de esta forma, hay otros efectos que se han producido siendo inapropiados para el sector de producción agrícola: La alta demanda de tierras disminuyendo territorio para el cultivo y producción. Debido a la explotación de recursos naturales, modificaciones que sufre el suelo y aumento en la producción de desechos viene desencadenando un impacto ambiental negativo (FAO, 2013).

Debido a que la acuicultura ha despertado la preocupación por los efectos que pueda causar en el medio ambiente se urge desarrollar herramientas que gestionen adecuadamente las actividades y ejecuten un desarrollo sostenible que considere todos los aspectos posibles (ecológicos, económicos, sociales) (FAO, 2013).

La acuicultura puede ser conocida como el cultivo de peces de forma artificial en donde se les suministra alimentos para hacer que su engorde y crecimiento se vea acelerado y ello provoque que el aumento de su metabolismo sea una realidad, generando una mayor cantidad de residuos orgánicos u componentes tóxicos que a su vez generan compuestos perjudiciales para el medio acuático (Pardo, Suárez, & Soriano, 2006).

Los impactos que puedan producirse en el medio ambiente por parte de una piscifactoría dependen mucho de múltiples factores como la especie que se cultiva, la alimentación que se le suministra, la densidad de población o las condiciones hidrográficas en las que se ha establecido el sistema. Entonces, si se necesita establecer un desarrollo sostenible es fundamental conocer los impactos ambientales que puedan desencadenarse en cuerpos de agua. Cuando se trata del cultivo de tilapia se está hablando acerca de un sistema controlado en donde es fundamental contar con suministros de agua y espacio, proceso que produce elevadas concentraciones de materia orgánica y desechos metabólicos, que se convierten en agentes desencadenantes de algún tipo de impacto ambiental por efecto de los compuestos nitrogenados y otros compuestos presentes en el agua al ser enviados de manera directa a los espejos de agua naturales (Pardo, Suárez, & Soriano, 2006).

Los efluentes de acuicultura producen una degradación ambiental preocupante que conforma el foco de atención de los investigadores, quienes buscan establecer sistemas en donde no se modifiquen los cuerpos de agua receptores y los sedimentos. De acuerdo con distintos autores se estima que los efluentes conforman un grupo de agentes que aumentan el riesgo de que el ambiente sufra impactos negativos tras su liberación (FAO, 2013).

De manera específica existen agentes que en su medio natural y en condiciones adecuadas no generan ningún efecto nocivo, sin embargo cuando estos provienen de industrias como la ganadería, agricultura y acuicultura, llegan a encontrarse en cantidades elevadas y en estas concentraciones Si llegan a generar daños al medio ambiente, este es el caso de los compuestos provenientes del nitrógeno y el fósforo, entre el daño más común y significativo se encuentra la eutrofización, anoxia e hipoxia de los cuerpos de agua. Asimismo, los desechos sólidos que se producen (como el carbón orgánico y el nitrógeno) son depositados muy cerca a los cultivos haciendo que se enriquezcan los organismos presentes en los fondos del cuerpo de agua, lo que desencadena un incremento en el consumo de oxígeno de parte de los sedimentos y a su vez el origen de sedimentos anóxicos perjudiciales por el hecho de que liberan metano, anhídrido carbónico, sulfuro de hidrogeno y la reducción de la biota. Todo desecho orgánico llega generar una mayor demanda bioquímica de oxígeno generando una disminución de las concentraciones de este en las aguas aledañas a la zona de nuestros cultivos, provocando que las especies que son poco resistentes a las aguas hipóxicas sean eliminadas (FAO, 2013).

Entre los efectos más evidenciables respecto a la contaminación y eutrofización se encuentran las modificaciones en la vegetación de los bentos el cual se encuentra compuesto por plantas vasculares, microalgas y macroalgas. Los efectos producidos se deben mayormente al aumento de floraciones de fitoplancton, decrecimiento zonas en donde se ubican comunidades de plantas perennes dando paso al desarrollo acelerado de poblaciones algas verdes foliáceas o filamentosas (Rabasso, 2006).

Además, otras acciones perjudiciales que provoca el implante de estos sistemas son las descargas de cultivos en donde muy probablemente existan parásitos y bacterias dañinas que afectan y matan otras especies que se encuentran alrededor del cultivo. Hay una gran amenaza en contra de poblaciones de peces y organismos acuáticos puesto que pueden resultar enfermos por los niveles elevados de infección presente en los cultivos (Ovando, 2013).

2.2.3. Tilapia

Pertenciente a la familia de los *Cichlidae*, denominado *Oreochromis niloticus*, o tilapia del Nilo, o tilapia gris. Es una especie muy precoz en sus parámetros de cultivo, así mismo es muy valorado por sus bondades para ser producida (Cisneros, 2021).

2.2.3.1. Condiciones para su cultivo

Para un crecimiento exitoso de los peces es importante contar con una buena calidad del agua en donde se va a establecer su sistema; he ahí que se hace necesario el poder contar con las mejores condiciones fisicoquímicas del agua basándose en los rangos de zona de confort de la especie con la que se pretende trabajar.

A. Oxígeno disuelto

Se podría decir que es el parámetro de cultivo más importante. El rango de saturación óptimo para el desarrollo de la especie se encuentra arriba de 4.5 mg/L o ppm, valores menores a este genera retraso en el crecimiento a causa de bajo consumo de alimento, y en valores a bajo de 2.5 mg/L o ppm ocasiona mortalidades en líneas genéticas mejoradas (Cisneros, 2021).

B. Temperatura

La temperatura optima se encuentra entre el rango de 20 y 30 °C, aunque las tilapias por lo general son capaces de soportar temperaturas menores a este rango. No obstante, si se trabaja con una temperatura de 15 °C es poco probable que

puedan crecer adecuadamente. Ahora, con respecto a una temperatura elevada, la tolerancia máxima se da entre el rango de 37 y 42 °C (Cisneros, 2021).

Entonces, es preciso mencionar que el rango óptimo para un buen cultivo de tilapias es bajo las temperaturas de 28 y 32 °C aunque se puede considerar una variación de 5 °C por debajo de este rango (Cisneros, 2021).

C. El pH.

La tolerancia de esta especie se encuentra dentro del rango de 5 y 11 de pH, en donde la tilapia no sufre ningún efecto perjudicial para su organismo; caso contrario pasa si el valor del pH es de >5 en donde es muy probable que el pez sufra de fallas respiratorias que lo pueden conllevar a la muerte (Cisneros, 2021).

D. Niveles de concentración de Amonio, nitrito y nitrato

Las sustancias orgánicas presentes en el cuerpo de agua de un estanque de cultivo sufren varios procesos, entre ellos tenemos la degradación y mineralización de estos, todo ello se lleva a cabo a través de fases que se dan transformando el amonio en nitrito y posteriormente a nitrato, lógicamente cada una de las fases de transformación presenta un periodo o proceso que se desencadena para dar pase de un compuesto a otro, para lo cual se detalla lo siguiente:

- El amonio/amoniaco ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) Usualmente la concentración no es mayor a los 0,2 mg/l o ppm. No obstante, si existiera un exceso es muy probable a que se deba a una proliferación y colonización de bacterias.

El ion amonio (NH_4^+) es considerado como un nutriente fundamental para las plantas y a su vez, no representa peligro para los peces; muy distinto al NH_3 (Cisneros, 2021).

El amoniaco es considerado como tóxico y dependerá mucho de la temperatura y pH que presente el agua. El rango tolerable por las tilapias se encuentra entre los 0.6 y 2 mg/l (Cisneros, 2021).

- Nitritos NO_2 , resaltan por el gran nivel de toxicidad que presentan, siendo reconocidos como agentes altamente contaminantes. Su nivel de toxicidad se da en base a la concentración de oxígeno, cloruros y la temperatura que presenta el agua. Las tilapias son muy sensibles cuando el nivel de nitrito es mayor a 0,2 mg/l o ppm (Cisneros, 2021).

- Nitratos NO_3 , *Nitrosomas sp* y *Nitrobacter sp* son las denominaciones que reciben las bacterias que se encargan de transformar el amonio a nitrito y posteriormente a nitrato. La transformación que producen estas bacterias es fundamental dentro de los sistemas de recirculación ya que se genera una concentración baja de nitrito y amonio a diferencia de los nitratos que requieren de una concentración más elevada para generar toxicidad en las especies. En la acuaponía, las especies agrícolas son las encargadas de absorber y aprovechar el NO_3 contenido en el agua para poder completar su proceso de desarrollo y nutrición (Cisneros, 2021).

Mientras que en los nitratos la concentración que se encuentra dentro del rango de 600 y 700 mg/L es perjudicial para el desarrollo de la especie ya que influye de manera negativa en el consumo del pienso, y la especie acuícola de la tilapia no es exenta a ello a pesar de su rusticidad (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006)

- E. Dureza de carbonatos (KH), es la proporción o concentración de sales de calcio y magnesio que se encuentran dentro del cuerpo de agua en forma de carbonato. Cuando se tienen concentraciones que superen los 20 ppm será fundamental que se agreguen carbonatos para permitir el cultivo de las tilapias.

La dureza no genera efectos nocivos irreversibles en las especies acuícolas, sin embargo esta si puede afectar de manera indirecta, ya que este parámetro es capaz de condicionar de acuerdo a su nivel de concentración el desarrollo del alimento vivo que es necesario en las primeras etapas de las especies acuícolas (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

- F. Dureza total (GH), Indica la cantidad total de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 presentes dentro de la composición del agua. De acuerdo con Meyer (2004), la dureza y alcalinidad adecuada en el agua para permitir el cultivo de peces debe estar dentro del rango de 20 a 300 mg/l o ppm (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

2.2.4. Lechuga

2.2.4.1. Características botánicas

- La raíz. – Se caracteriza por ser pivotante, el eje principal que presenta es carnoso y se encuentra no posee muchas ramificaciones (estas poseen látex),

y la profundidad a la que pueden llegar es superior a los 30 cm. Asimismo, cuenta con numerosas raíces laterales quienes se desarrollan más o menos en 30 cm desde la superficie hacia abajo (Moreno & Zafra, 2014).

- Las hojas. – Presenta un borde liso, dentado, ondulado o lobulado, mientras que su forma varía siendo redonda, lanceolada y oblonga. No presenta peciolo, ovals, gruesas, antreras, arrosetadas mientras que las hojas caulinares son alternas, semiamplexicaules y su extremo varía siendo rizado redondo. Posee una tonalidad que va desde el verde amarillo hasta el morado claro, lo cual va a depender del tipo y la forma en que se cultive (Moreno & Zafra, 2014).
- El tallo. – su longitud va hasta los 1.20 m, en la que se ramifica al llegar al extremo y presenta en la punta unas ramillas que culminan con una inflorescencia (Moreno & Zafra, 2014).
- La Inflorescencia. – Agrupación de flores que van desde las 15 hasta las 25 unidades, ramificadas y presentándose en una tonalidad amarillenta (Moreno & Zafra, 2014).
- Las semillas. – Presentan un tamaño entre 4 y 5 mm, siendo alargadas y mostrando un color blanco cremoso, sin embargo, también existen semillas de color castaño y pardo. Es preciso mencionar que las semillas que han sido cosechadas hace poco, generalmente, no logran germinar puesto a que la semilla expuesta a oxígeno presenta impermeabilidad. En estos casos se emplea el acondicionamiento con una temperatura que va dentro del rango de 20 a 30 °C con el fin de hacer que esta germine (Moreno & Zafra, 2014).
- El fruto. – Se caracteriza por ser seco, oblongo y aquenio (Moreno & Zafra, 2014).

Clima y fechas de producción

Las lechugas se pueden producir en todo el año, cumpliendo con todos sus requerimientos de la variedad a cultivar.

Factores ambientales que influyen en el cultivo (parámetros correctos o óptimos)

- a) Temperatura: Dependiendo de la temperatura, la velocidad de crecimiento de la planta va a variar. Cuando se eleva la temperatura, los procesos químicos aumentan haciendo que su crecimiento también lo haga. Los procesos químicos que se

desarrollan dentro de la planta dependen mucho de unas enzimas que trabajan adecuadamente cuando se encuentran dentro de un rango óptimo de temperatura. Cuando se encuentran fuera de esos rangos es muy probable que los procesos químicos se ralenticen o se detengan. Cuando ello ocurre, es muy probable que la planta se estrese, el crecimiento se vea afectado y en el peor de los casos la planta puede morir. Entonces, si se desea una maduración óptima es fundamental que la temperatura sea en promedio de 24°C cuando es de día y 19°C de noche (Nelson & Pade, 2008).

- b) Humedad: La humedad que presenta el aire condiciona el nivel de transpiración que presentan las plantas. Cuando hay una humedad relativa en el aire se produce una transpiración menor de agua por parte de las plantas reduciendo el transporte de nutrientes desde la raíz hasta las hojas y reduciendo el enfriamiento de la superficie que presentan las hojas. Asimismo, cuando hay una alta humedad es muy probable que se ocasionen enfermedades. Ejemplo de ello se da cuando se tiene un HR alto que consecuentemente genera el crecimiento de moho. Por lo tanto, es recomendable tener una humedad de 65 a 75% (Nelson & Pade, 2008).
- c) Iluminación: Dentro del sistema NFT es muy importante tener una distribución uniforme de la luz. Para ello es necesario emplear lámparas de sodio de alta presión de 300 vatios. Generalmente tienen larga duración y son eficientes, ello porque su desgaste es muy lento al transcurrir del tiempo. Es muy importante con contar con una iluminación adecuada por lo que se necesita tanto luz natural como suplementaria. El ajuste adecuado debería ser de 15 horas diarias de luz (Nelson & Pade, 2008).
- d) Es probable que haya riesgo de que se desarrollen algas por lo que se protege de la luz a la solución nutritiva. Por ello se tiene protección tanto para los tanques contenedores de solución como los canales de cultivo (Nelson & Pade, 2008).
- e) Oxigenación: La circulación de la solución nutritiva puede ser tanto continua como periódica, ello facilitando la oxigenación natural. Además, se requiere de la creación de turbulencias para favorecer a la oxigenación, por ello es que es fundamental que la solución nutritiva que retorna hacia el tanque mediante la tubería recolectora posea una altura mínima (Nelson & Pade, 2008).
- f) Ventilación: Es importante que exista ventilación debido a que hay una relación entre el flujo de aire con la transpiración que generan las plantas. Cuando se aumenta la transpiración se produce un mayor transporte de nutrientes, sobre todo

del calcio, que va desde las raíces hasta las hojas. Cuando se aumenta la distribución de nutrientes se provoca una provisión de calcio para las hojas evitando que estas se quemen (Nelson & Pade, 2008).

2.2.5. Acuaponía

Para evitar impactos que perjudiquen al medio ambiente se tiene como alternativa ideal a la acuaponía. Mediante ello se busca crear un sistema de producción con peces y plantas en donde ambos se benefician mutuamente, primero los peces creando nutrientes para el consumo de las plantas y luego las plantas filtrando los desechos que son generados por los peces. El desarrollo de la acuaponía ha ido creciendo considerablemente durante los últimos años, cuando surgió se dio a partir de la creación de plantas de tratamiento como lo son los humedales, en donde se trabajaba con efluentes que hacían que las plantas procesen el agua (Hennecke & Rettenmaier, 2014).

El efluente se somete a un tratamiento utilizando cultivos hidropónicos que se producen en empresas que han visto gran rentabilidad con ese trabajo, beneficiando también al productor y la acuicultura. Si se tiene una buena base de un sistema acuapónico, con un buen diseño y funcionamiento se obtienen grandes beneficios como la reducción de alrededor del 90% de necesidad de agua para un cultivo común de peces, ello quiere decir que solo se requiere de una décima parte de agua comparando con un sistema tradicional. Además, brinda la capacidad de mejorar el rendimiento y disminuir los costos de producción sin requerir de terrenos amplios para su ejecución, además de hacer posible el ahorro del 45% de fertilizantes que se requieren para la producción de hortalizas, puesto que este sistema genera al menos el 80% de elementos requeridos por las plantas para establecer su desarrollo gracias a la producción que generan los peces. Hablando de cuantitativamente se entiende que mediante esta producción es posible conseguir 500 plantas/m² anualmente (Delgado, Alarcón, Caluguillín, Noles, & Delgado, 2019).

Al hablar acerca de la producción que genera la acuaponía se reporta que mientras se produce una tonelada de pescada anual, se genera en cultivo unas siete toneladas (albahaca o lechuga) de acuerdo con reportes (Ascate & Céspedes, 2019).

Dentro de sistemas acuapónicos se tiene gran variedad de plantas y organismos acuáticos, eso sí, son muy necesarios ambos. Entre los elementos presentes dentro de estos sistemas se encuentran los tanques con organismos acuáticos, el clarificador o el filtro para sólidos, camas para el crecimiento de plantas, biofiltro, sistema para bombear agua y el sistema de aireación. Cuando todos estos elementos están conectados se pone en marcha todo el proceso sistemático: El agua contenedora de nutrientes es transportada desde el tanque con peces (u otros organismos) hasta el clarificador, en donde se produce la eliminación de la mayoría de las partículas disueltas sin importar el tamaño que presenten. Posteriormente pasa hacia el biofiltro, en donde se tiene una superficie donde se alojan una cantidad considerable de bacterias que se encargan de convertir el amoníaco en nitrito, mientras que hay otras que se encargan de convertir el nitrito en nitrato. Seguidamente el líquido obtenido se posa sobre las camas de crecimiento que puede ser flotante, de capa delgada o con grava. Luego esta agua puede retornar al tanque en donde se encuentran los organismos o transportarse hasta el sifón en donde se reúnen todas las aguas provenientes de otras camas de crecimiento y después llevarlas hasta el tanque, reiniciando así el ciclo (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

2.2.5.1. Diseño técnico de los sistemas acuapónicos

Para poder llevar a cabo el proceso acuapónico, es necesario comprender que lo que ocurre en el medio natural se llevará de la misma forma en nuestros medios de cultivos artificiales, se debe tener en cuenta que a mayor volumen de producción el sistema requiere cálculos más precisos, entre ellos se tiene que considerar el cálculo de dimensionamiento para permitir que exista un equilibrio entre todos los elementos.

Para que el sistema no falle existen reglas básicas, en esencia se debe de considerar que el agua es reutilizada mediante un sistema de recirculación de fluido, esta es la esencia de la acuaponía, ya que a través de ello permite el movimiento de los compuestos aprovechables por las plantas, una adecuada oxigenación del medio, una adecuada disminución de los sólidos totales disueltos, así mismo un equilibrio adecuado dentro de los parámetros físicos químicos y biológicos, logrando de esta

forma que los microorganismos y las plantas que participan dentro de este sistema puedan mostrar su máximo potencial.

En la actualidad el dimensionamiento aún no permite trabajar con altos volúmenes de producción, ya que el sistema requiere afinaciones para que este no genere efectos negativos en ninguna de las especies, los escenarios comunes que se llegan a presentar son el que se emplee densidades bajas de especies acuícolas, de esta forma evitan que exista un colapso dentro del sistema, así mismo se tiene bien medida el porcentaje de alimentación para evitar problemas por sobre alimentación generando desechos que después elevan los niveles de compuestos nitrogenados, afectando de manera negativa en las especies agrícolas, así mismo también genera elevaciones en el consumo de oxígeno, e incluso existe una elevación en gases nocivos presentes dentro del cuerpo de agua a través de la descomposición de la materia orgánica.

Así como es necesario el conocer las necesidades de las especies acuícolas, se hace de imperativa necesidad el conocer los requerimientos de las plantas, en este caso se habla de nutrición vegetal, así como labores complementarias que estas requieran para su correcto desarrollo, es necesario que exista un equilibrio nutricional en las plantas ya que así como en los animales un desbalance de estos nos estaría ocasionando un bajo aprovechamiento de nutrientes y un pésimo desarrollo en las plantas.

En esencia el sistema acuapónico tiene por finalidad dar un valor agregado al reúso del agua generando un ingreso a través de las plantas u hortalizas que se pueden llegar a producir, de esta forma se evite el abuso de fertilizantes químicos, así mismo se evita que existan más contaminantes que se segreguen al medio ambiente ya que a través de este sistema prácticamente se elimina estos desechos y si el agua tiene que regresar a su medio natural se irá sin ningún compuesto que desvirtúe el medio natural.

Otro beneficio que te entrega el sistema cuerpo único es el menor uso de espacios o áreas de terreno, es importante resaltar que al trabajar en estos sistemas obtenemos dos beneficios productos proteicos y a la vez productos vegetales con un valor agregado de orgánicos. Se debe entender que como todo negocio siempre hay una

inversión inicial elevada sin embargo en el largo tiempo de la producción se obtienen ganancias que permiten sustentar estas inversiones.

Así mismo se ha visto que hay un mayor ingreso económico a través de la implementación de energías limpias como la de los paneles solares, es de conocimiento masivo que la implementación de estos sistemas tiene un elevado costo sin embargo en el tiempo que se dé la producción se puede recuperar la inversión y obtener sustanciales ganancias.

Otro detalle que debe tenerse en consideración son los parámetros que se miden dentro del cuerpo de agua, los cuales deben mantenerse dentro de rangos ya que existen tres especies que se dependen de ello, la primera los microorganismos que se encargan de transformar los compuestos nitrogenados en compuestos aprovechables para las plantas, segundo las especies acuícolas y tercero las especies agrícolas.

Dentro de los detalles a considerar para poder llevar a cabo la acuaponía, es necesario conocer qué especies pueden trabajar de manera conjunta, tanto en las especies acuícolas como en las agrícolas, ya que algunas especies de acuicultura no son compatibles con algunas especies agrícolas y muchas veces no se obtienen buenos resultados en cuanto a los parámetros productivos de estas.

Cuando se desarrollan operaciones acuapónicas, por lo general se trabaja con un sistema de flujo de nutrientes mediante canales denominados como NFT, sistemas hidropónicos en camas con sustrato o balsa de raíz flotante (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

El diseño determina los componentes que se usarán en el sistema, pero en general se utilizan componentes esenciales como los tanques con organismos acuáticos, camas para el crecimiento de plantas, biofiltro, sistema para bombear agua, el sistema de aireación, el tanque de mineralización, el área de siembra y el desgasificador (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Superficialmente, la función que cumple el biofiltro es el de formar un asentamiento en donde se tienen bacterias que benefician las operaciones acuapónicas. No obstante, proporciona otros beneficios como brindar una gran

superficie, pH, equilibrio de la temperatura y los niveles de oxígeno disuelto (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Cuando ocurre el proceso de biofiltración, el agua que contiene gran porcentaje de nitrógeno es pasada entre los biofiltros (los cuales se encuentran colonizados por bacterias nitrificantes). Entonces, esta operación produce que el NH_3 sea oxidado y convertido en Nitrito (NO_2^-) gracias al trabajo de las bacterias amonio-oxidantes; seguidamente se produce la conversión del nitrito a nitrato gracias al trabajo de las bacterias nitrito oxidantes (Delgado, Alarcón, Caluguillín, Noles, & Delgado, 2019).

Un problema que tiene el proceso de biofiltración es el hecho de que sea incierto el establecimiento de las bacterias nitrificantes dentro de los biofiltros, lo que puede hacer que la actividad se vea reducida debido a cambios bruscos de la temperatura que presenta el agua o también por la reducción del pH siendo <7 . Si ocurren problemas en el biofiltro se tiene el riesgo de aumentar los valores de amoníaco y nitrito provocando el deceso de los peces en cultivo.

El cálculo básico que se realiza para poder determinar la relación existente entre peces y plantas va a ir de acuerdo con si es que estas son de hoja o si es que van a producir frutos, en ejemplos prácticos y sencillos se puede llegar a producir por cada 40 gramos de alimento alrededor de 20 plantas de hojas como lechugas, y en el caso de frutos se requiere entre 80 gramos de alimento, hablando a grandes rasgos.

2.2.5.2. Calidad de agua en acuaponía

La concentración de los nutrientes que se encuentran disueltos dentro del agua utilizada para cultivo puede ser medida mediante TDS (Sólidos disueltos totales), expresando su valor en ppm (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Cuando se trata de sistemas hidropónicos se requiere de una concentración de TDS que vaya dentro del rango 1000-1500 ppm. Ahora, dentro de sistemas acuapónicos se considera que el rango óptimo de TDS va entre 200-400 ppm, siendo considerablemente bajos (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

El problema con los sistemas acuapónicos se da cuando se produce un exceso de nutrientes. Cuando se tiene una concentración de nutrientes mayor a los 2000 ppm es recomendable realizar un cambio de agua, u otra opción también es reducir el número poblacional de peces dentro del cultivo (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006)

Cuando se refieren a fosfatos, se entiende por el producto ocasionado por la actividad biológica de los peces y la sobrealimentación que estos reciben. Una concentración produce que la población de fitoplancton aumente. Su valor fluctúa entre los 0,6 a 1,5 ppm como PO₄ (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Entre los iones que producen el aumento del TDS se encuentra el NH₃, PO₂, (SO₂ 1) K⁺, Ca⁺² y Mg⁺². Por lo general los niveles de NO y PO₂ son suficientes como para permitir un adecuado crecimiento vegetal, caso contrario pasa con el K⁺ y Ca⁺² que generalmente no son suficientes. Los iones que se encargan de aumentar (principalmente) el TDS son el NO₃ y el PO₂. De forma externa se agregan al sistema tanto el K en forma de KOH y el Ca en forma de [Ca(OH)], la finalidad es equilibrar el pH que presenta el agua y también como nutriente (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

Múltiples micronutrientes como el Cu⁺², B⁺³, Fe⁺², Mn⁺² y Mo⁺⁶ no son acumulados de forma significativa dentro de este sistema con respecto al ingreso de pienso que se acumula en la columna de agua. El Fe⁺² que llega a la columna de agua por medio del pienso de las especies es insuficiente y por ello es necesario que se complemente con Fe⁺² quelado para que esta se eleve y pueda llegar a tener un nivel de concentración de Fe⁺² sea de 2.0 mg / L, el cual se hace de vital importancia para obtener un adecuado rendimiento productivo de la especie agrícola. (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

2.2.6. Fertilización foliar

Es considerado como un instrumento fundamental para el control sostenible y productivo del cultivo, asimismo comercialmente es muy importante para el mundo. Entre las razones principales para emplear la fertilización foliar se encuentran: Limita los nutrimentos que se aplican en el suelo, es aplicable cuando se producen tasas elevadas de pérdida de nutrientes

en el suelo, y se aplica cuando se limita el suministro de nutrientes hacia los órganos vitales de las plantas (Intagri, 2023).

La aplicación foliar tiene un proceso mediante el cual se absorben los nutrientes que se aplican, el medio principal de ingreso es a través de las hojas, esto es fertilizantes llegan a penetrar por la cutícula de la planta (hojas), y se absorben mediante células que metabolizan de manera activa los nutrientes y posterior a ello se trasladan los nutrientes hacia los órganos de la planta para que esta pueda emplearlos (Intagri, 2023).

Para que este proceso se pueda llevar de manera armoniosa y eficiente son varios los factores que llegan a influir en la efectividad del fertilizante foliar, la mayoría de ellos son los parámetros de calidad de agua o suelo, asimismo la característica de la especie agrícola en cuanto a su fisiología y anatomía, método de cultivo, etc. (Intagri, 2023).

Se le considera como el principio que marca el inicio de los nutrimentos que se aplican mediante el tejido foliar (generalmente mediante las hojas), los cuales se entienden como los órganos en la que hay una mayor concentración de actividad fisiológica por parte de las plantas (Intagri, 2023).

Asimismo, se cree que es una de las mejores opciones para aplicar micronutrientes, quienes son muy importantes para las plantas a pesar de ser suministradas en pequeñas cantidades. Además, esta puede convertirse en un gran complemento para suministrar elementos mayores cada cierto tiempo que se definen conforme va creciendo la planta. Hay casos en que la fertilización foliar puede provocar efectos adicionales como por ejemplo el aumento de la eficiencia en la fotosíntesis, modificaciones fisiológicas de las plantas, entre otros efectos (Osorto, Sierra, Paz, Ramirez, & Zamorano, 2021).

La finalidad de la fertilización foliar es que se corrija rápidamente las deficiencias nutritivas. Además de incrementar la habilidad de las raíces para permitirles absorber de forma adecuada los nutrimentos que se requieren para el crecimiento óptimo.

2.2.6.1. Cutícula

Es aquella capa extracelular ubicada superficialmente por encima de las células epidérmicas, esta es denominada como cutícula, que en palabras simples y sencillas cumple la función de conectar los órganos internos de cualquier planta con su medio

ambiente, una de sus funciones principales es la de protección, ya que esta es la encargada de cubrir los órganos de la planta contra los diversos efectos que pudieran generar en esta los factores abióticos y bióticos, además es muy importante ya que esta evita que exista pérdidas de agua en la planta. La protección que brinda se da debido a que muestra una propiedad hidrofóbica con la que puede repeler el agua. Se tienen varias ideas acerca de cómo es que se produce la penetración de nutrientes (las vías que permiten esto) atravesando la pared celular. Uno de los más convincentes indica que la penetración se produce gracias al paso que otorgan los poros hidrofílicos ubicados en la cutícula. Aunque, en la cutícula también se encuentra la epidermis (quien contiene células como tricomas y estomas) que probablemente influyen en la absorción de los nutrientes foliares. La evidencia que demuestra este último enunciado se presenta cuando las plantas sufren un estrés hídrico en las que actúan cerrando las estomas, esto ocasiona que no permita el intercambio de los gases que se generan internamente en la planta con el medio ambiente, además al ocurrir este problema no existe una adecuada absorción de nutrientes provenientes de los fertilizantes foliares ya que no penetran a raíz de esta problemática. Por otra parte, la interacción que hay entre la hoja con la gota va a depender mucho de las propiedades físico-químicas que presenta el fertilizante foliar en su presentación de laboratorio, así mismo también es importante la superficie de la planta en donde se va a absorber los nutrientes del fertilizante foliar, en resumen se debe de tener en cuenta la rugosidad de la planta y a la vez la composición química y disponibilidad de los nutrientes del producto a emplear. Mientras exista mayor área de contacto de las gotas de fertilizantes con la superficie, mayor será la probabilidad que se ocurra la absorción de nutrientes mediante los poros de las estomas o la cutícula (Intagri, 2023).

2.2.6.2. Apoplasto

Es la denominación que reciben los espacios intercelulares que presenta la hoja y que se caracterizan por estar ocupados por los nutrientes, aire y agua. Es importante para permitir el intercambio de iones y también actúa como barrera de difusión. Claramente le antecede a la absorción que se produce gracias al simplasto, denominación que reciben los espacios intracelulares. La información respecto al destino que tienen los nutrientes foliares localizados en el apoplasto de las hojas es escasa. Debido a que existe una abundancia de Cargas negativas ocurren restricción es de movilidad para elementos que se suministran

como cationes como es el caso del Ca, Zn y Fe, haciendo que su desplazamiento de nutrientes hacia otros órganos de planta sea limitado (Intagri, 2023).

El movimiento que se desencadena para la distribución de nutrientes y la traslocación mediante la cual se llegan los distintos nutrientes a todas las partes de la planta pueden sufrir alteraciones mediante algunos problemas que puede llegar a presentar el apoplasto, por parte de este puede ser que el tamaño de los poros no sea el adecuado para la absorción, pero también existen factores que son externos a este y que pueden generar alteraciones en este, tal es el caso del pH, fuerza iónica, pared celular o la forma química. Es por ello que con la finalidad de que los fertilizantes foliares puedan ser absorbidos de manera más eficiente se debe entender los fenómenos que comprende el apoplasto con respecto al movimiento (Intagri, 2023).

2.2.6.3. Entrada de nutrientes

El nivel de eficacia que presenten las aplicaciones foliares de nutrientes dependen que los nutrientes aplicados a la planta puedan llegar simplasto y consecuentemente se transporten a otros órganos que posee la planta, en donde se incluye los granos, frutos o la flor. Los nutrientes esenciales, con respecto a la movilidad que presentan en el floema, se han clasificado en tres grupos: Los altamente móviles como el N, P, K, Mg, S, Cl, Ni; los intermedios o poco móviles como Fe, Zn, Cu, B, Mo y los inmóviles como el Mn y Ca. Esta es la razón por la cual las aplicaciones foliares de nutrientes con mayor movilidad tienden a generar una respuesta sistémica mayor en la planta, en comparación con los elementos inmóviles. Debido a ello es poco recomendable la aplicación foliar de Ca o, si no, establecer aplicaciones constantes debido a que una vez fijado ya no es posible su traslocación. Consecuentemente se puede decir que para que un fertilizante foliar sea eficiente, este depende de la movilidad de nutrientes, la cual puede verse afectada por múltiples factores, tal es el caso de la especie vegetal, variedades u órganos de la planta, brindando beneficios al proceso local o total en la planta. Ejemplo de ello se da en muchas de las especies en donde se dan aplicaciones de Zn, Mn, Ca y Fe con lo que se consigue un efecto localizado, que es limitado solo en la hoja de la planta (Osorto, Sierra, Paz, Ramirez, & Zamorano, 2021).

Aunque no se está claro de todo respecto con los aspectos que tienen que ver con el movimiento de los elementos nutricionales aplicados mediante la vía foliar, el desarrollo

de la hoja es fundamental cuando se trata de la importación y exportación de nutrientes para las hojas y órganos de la planta. Las hojas se encargan de desarrollar la transición de sus órganos demandantes los cuales muestran total dependencia con respecto a los órganos encargados de exportar los nutrientes a otras partes de la planta. Cuando las hojas se encuentran inmaduras están en una etapa en las que fisiológicamente no son capaces de exportar nutrientes, por lo que requieren de alcanzar su madurez, mientras que, por su parte, las hojas viejas no tienen la capacidad para exportar. Entonces debe de considerarse la importancia de las hojas ya que tienen la capacidad de exportar los elementos nutricionales aplicados por vía y estas varían en base a la especie y al ambiente en que se encuentren (Osorto, Sierra, Paz, Ramirez, & Zamorano, 2021).

2.2.7. Fertilizante Foliar

BIOSOLNEW, es considerado como un acondicionador orgánico de suelos, fundamental para trabajar junto con las fertilizaciones foliares y edáficas de elementos mayores y menores gracias a su poder acrecentador, generando cultivos más sanos, vigorosos y por ende cosechas de alta calidad, es un compuesto o complejo netamente orgánico que en su composición cuenta con Extractos Húmicos Totales (EHT), ácidos húmicos y fúlvicos, que para obtener un mejor rendimiento en la planta esta enriquecido con macroelementos y Microelementos, que han sido obtenidos por distintos procesos a partir de la materia orgánica vegetal, es un producto ideal para suelos y aguas, ya que mejora la asimilación de los nutrientes, tanto en el ámbito foliar como radicular (AgroNegociosPerú, 2023).

Tabla 1. Composición de Biosolnew – fertilizante foliar

| Composición | p/p |
|--|------------|
| Materia orgánica total | 84.00% |
| Extracto Húmico Total (EHT) | 82.00% |
| Ác. Húmico | 6.00% |
| Ác. Fúlvico | 74.00% |
| Nitrógeno total | 2.35% |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | 0.65% |
| Potasio (K ₂ O) | 9.80% |
| Calcio (CaO) | 1.17% |
| Magnesio (MgO) | 1.57% |
| Azufre (S) | 1.43% |
| Minerales quelatados: | |
| Fe, Cu, Mn, Zn y B | 0.118% |

| Otros: | |
|------------------------|--------|
| Carbono Orgánico Total | 47.20% |
| Proteínas | 15.70% |
| Carbohidratos | 39.20% |
| Aminoácidos Libres | 1.14% |
| Relación C:N | 20 |
| pH | 4.5 |

Fuente: Biosolnew (AgroNegociosPerú, 2023)

2.3 Bases filosóficas

De acuerdo con Hernández (2006) existe relación entre la calidad de vida y la sociedad-ciencia-tecnología, la cual es la imposibilidad de alcanzar el último paso sin que antes la sociedad decida esforzarse por establecer las bases respecto a un desarrollo científico sistemático y ordenado con el cual se pueda alcanzar el conocimiento. A través de la biología se tiene el ejemplo perfecto acerca de la creación de conocimiento y su transición al convertirse en tecnología, permitiendo así mejorar la calidad de vida y permitiendo una utilización de recursos óptimos para cada nación. Gracias a las ciencias biológicas, el ser humano ha podido establecer sistemas para la producción mediante plantas y animales (FAO, 2013).

No obstante, es imposible lograr un avance tecnológico sin contar con los aportes proporcionados por las ciencias básicas de forma independiente y multidisciplinariamente, en donde se genera la teoría y la experimentación en base a dos o más áreas en donde se ha investigado, permitiendo obtener acoplamientos perfectos en donde se origina el estímulo para la creatividad (FAO, 2013).

Debido a que actualmente existe una alta demanda de productos hidrobiológicos en zonas donde hay baja densidad de población marina, surge la idea de establecer sistemas en donde se tenga un mantenimiento de peces en cautiverio para ser comercializados como un producto fresco. Entonces, establecer esta operación requiere de una adecuada alimentación de los peces si es que se quiere asegurar su supervivencia, logrando también que el peso corporal y su capacidad de reproducción aumente. Entonces ello permite establecer un novedoso método que ha logrado la transformación del hombre de cazador a cultivador (FAO, 2013).

Ahora, como es bien sabido, toda actividad productiva genera un impacto ambiental; y en el caso de la actividad acuícola no se es ajeno a ello, llevándose grandes acusaciones durante los últimos años. Esta es la razón por la cual se establecen investigaciones en acuicultura para poder producir alimento de alta calidad y salvaguardar la salud de las personas junto con el cuidado del medio ambiente. Por ello es que existe un intenso rigor científico para dar con la mejor solución (FAO, 2013).

2.4 Definición de términos básicos

Rendimiento. – Término con el que se le conoce a la relación entre la producción obtenida con la unidad de superficie y es influenciado por el comportamiento de los factores ambientales de tipo fisiográfico, climático, biótico y edáfico.

Calidad. – Características que presenta un producto y que le otorga valor en comparación con otros productos de la misma línea.

Cultivo. – Método empleado para el mantenimiento de plantas o animales dentro del campo.

Abono foliar. – Posee elementos nutritivos que serán aplicados en forma de una solución diluida a la masa foliar que presenta el cultivo.

Ambientes controlados. – Zonas en las que se tienen completamente controlados todos los parámetros (HR, luz, temperatura, etc)

Clima. – Condiciones atmosféricas que forman parte de una zona, en donde se presentan vientos, lluvias, humedad, temperatura, entre otros; influyentes en los seres vivos que habitan dentro de sus límites.

Cultivo experimental. – Término que recibe el conjunto de técnicas sometidas a los frutos o animales para establecer una fuente de comercialización futura.

Dieta alimenticia. – Término con el que se le conoce a la cantidad de alimento proporcionado a un organismo diariamente, sin considerar si este es lo suficiente para cubrir sus necesidades de mantenimiento.

Ictiómetro. – Instrumento utilizado para poder conocer la longitud que tienen los peces. Tienen una forma que las asemeja a una escuadra, pues se ubican dos placas lisas de forma perpendicular.

Invernadero. – Ambiente cerrado en donde se establece la horticultura, se encuentra cubierto al exterior mediante un vidrio, en donde interiormente se establecen controles de temperatura, humedad, luz y otros factores ambientales influyentes en el desarrollo de las plantas.

2.5 Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

La fertilización foliar tiene un efecto positivo en sistema acuapónico de *oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022

2.5.2 Hipótesis específicas

- La fertilización foliar tiene un efecto positivo en el rendimiento de *lactuca sativa* (lechuga) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022
- La fertilización foliar afecta en el rendimiento de *oreochromis niloticus* (tilapia gris) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022
- La fertilización foliar afecta la calidad de agua del sistema acuapónico de *oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

2.6 Operacionalización de las variables

| VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | REACTIVOS (Ítems) | ESCALA |
|--|---|--|---|------------|
| (X) Fertilización | Hidropónico | Solución hidropónica A,B,C | ml/lit agua. micronutrientes | Ml/l |
| | Acuapónico | Compuestos fertilizantes | Mg/lit de concentración de Fosfatos y nitratos | Mg/l |
| | Acuapónico + fertilizante foliar | Compuestos fertilizantes + Complejo de Fertilizantes foliares. | Mg/lit de concentración de Fosfatos y nitratos + 2.5/lit agua fertilizante foliar | Mg/l |
| (Y) Rendimiento del Sistema acuapónico de <i>Oreochromis niloticus</i> (tilapia gris) y <i>lactuca sativa</i> (lechuga) | <i>Oreochromis niloticus</i> (tilapia gris) | Ganancia de peso | Ganancia de peso en Gramos | Gr./sem. |
| | | Consumo alimento. | Consumo de alimento en Gramos | Gr./día |
| | | Conversión alimenticia | Consumo de alimento en Gramos entre peso vivo. | Proporción |
| | <i>Lactuca sativa</i> (lechuga) | Largo de hoja | Altura de la planta | Cm/planta |
| Ancho de Hoja | | Ancho de la hoja | Cm/planta | |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

La presente investigación es de tipo **aplicada**, de nivel de investigación **explicativo relacional**, el diseño es **experimental**.

El enfoque es cuantitativo y el alcance explicativo, según Sampieri (2010).

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

1000 especies de *Oreochromis niloticus* “tilapia nilótica”, de un peso promedio de 0.168 kg/unidad, obtenidos de un laboratorio de producción de alevines de una Estación Pesquera, ubicada en Tarapoto, Región San Martín, Perú. Así mismo las plántulas de lechugas serán 1000 provenientes de una empresa productora de plantines en invernadero.

3.2.2 Muestra

Se seleccionaron 30 especies de *Oreochromis niloticus* “Tilapia Nilótica”, con un peso de 0.168 kg inicial promedio, seleccionados aleatoriamente de un lote de 1000 provenientes de una Estación Pesquera, ubicada en Tarapoto, Región San Martín. Así mismo se emplearán 198 plantines de lechuga seleccionados al azar.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Como instrumento se optó por utilizar la medición de datos primarios, términos con los que se les conoce a las tablas de parámetros esperados. Asimismo, los muestreos biométricos han sido plasmados en formularios con el fin de poder determinar los pesos y

tallas, además de la supervivencia diaria mediante un formulario en la que se registran las observaciones. Finalmente se registrarán datos respecto a los alimentos diarios que se suministra al cultivo y se utilizarán fotografías para documentar el desarrollo de toda la experimentación.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Los datos de peso promedio fueron procesados y analizados estadísticamente serán analizados mediante la prueba estadística de análisis de varianza (ANOVA) de un factor el usando el programa estadístico Minitab versión 18 para Windows 11.

Posteriormente de encontrarse diferencia en los tratamientos se evaluarán las diferencias entre cada par de medias de cada uno de los tratamientos.

Finalmente se establecer un análisis estadístico dedicado a los índices de crecimiento como son la velocidad de crecimiento y la tasa (determinada por el peso y talla), el aprovechamiento nutritivo, el factor de condición del alimento y la eficiencia alimentaria.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

4.1.1. Calidad de agua en el sistema acuapónico:

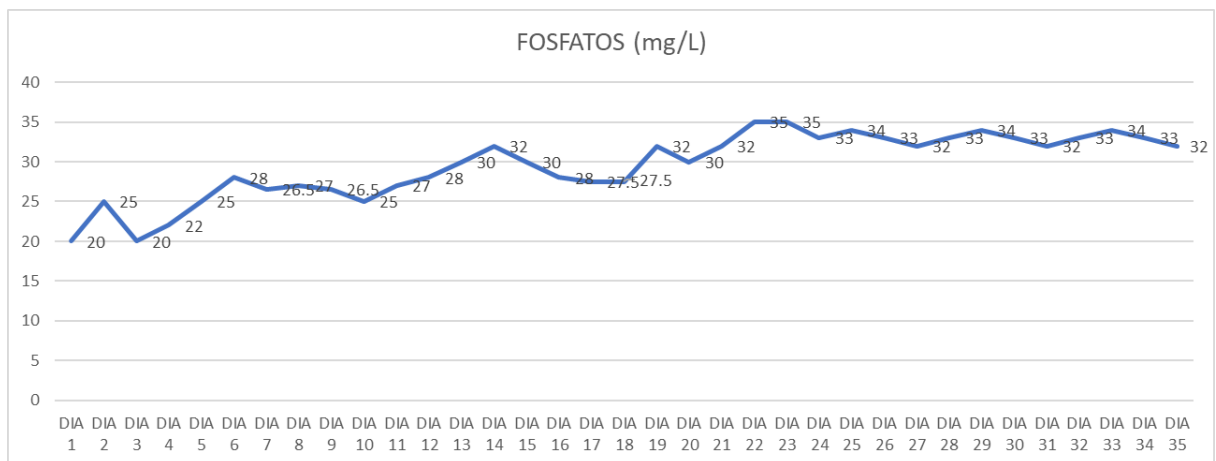


Figura 1. Concentración de fosfatos en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 29,6 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

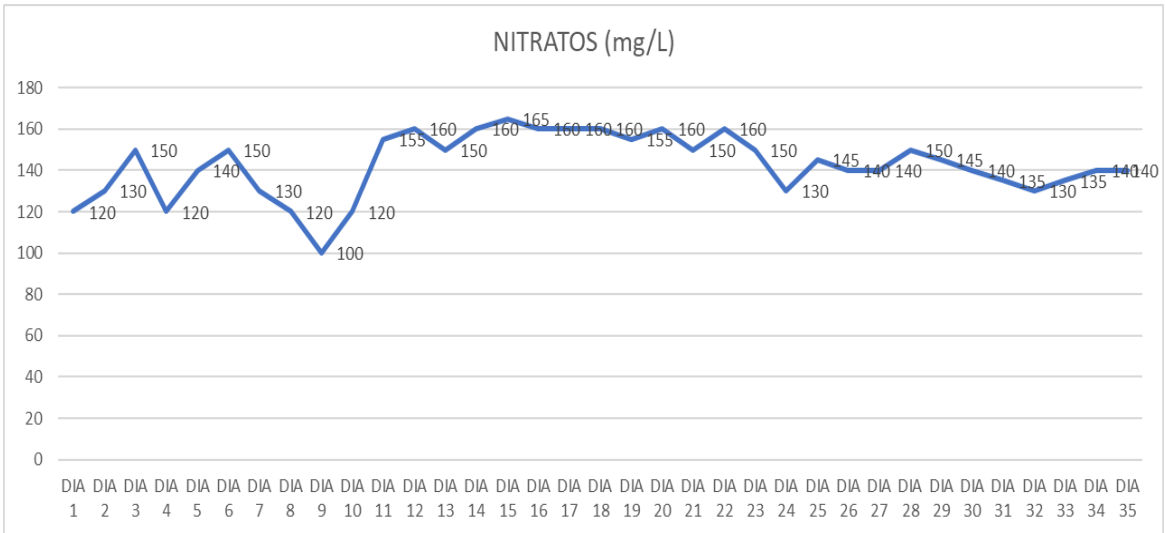


Figura 2. Concentración de nitratos en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 142,7 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

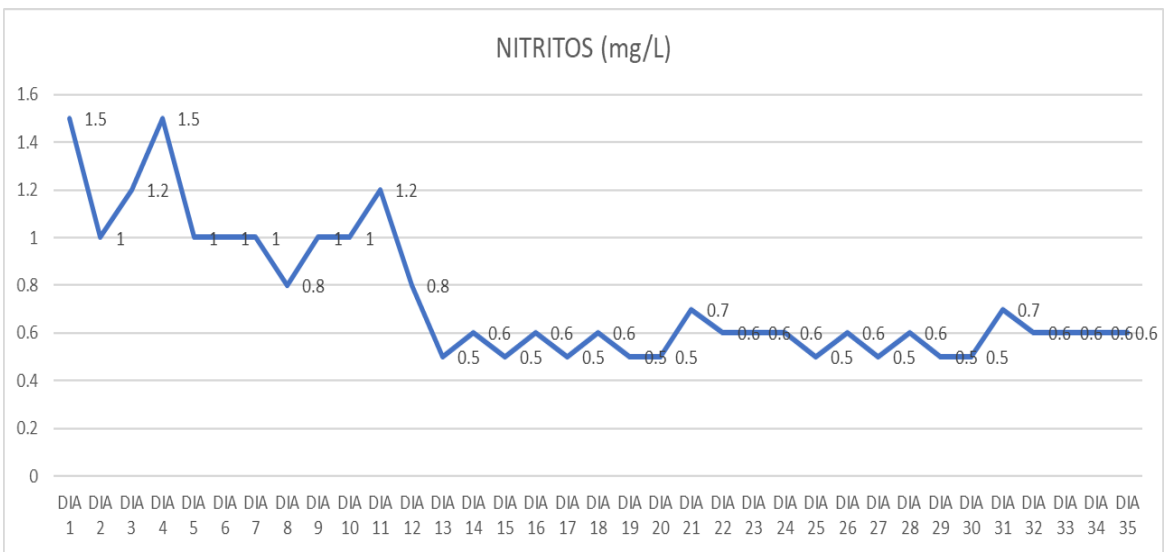


Figura 3. Concentración de nitritos en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 0,7 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

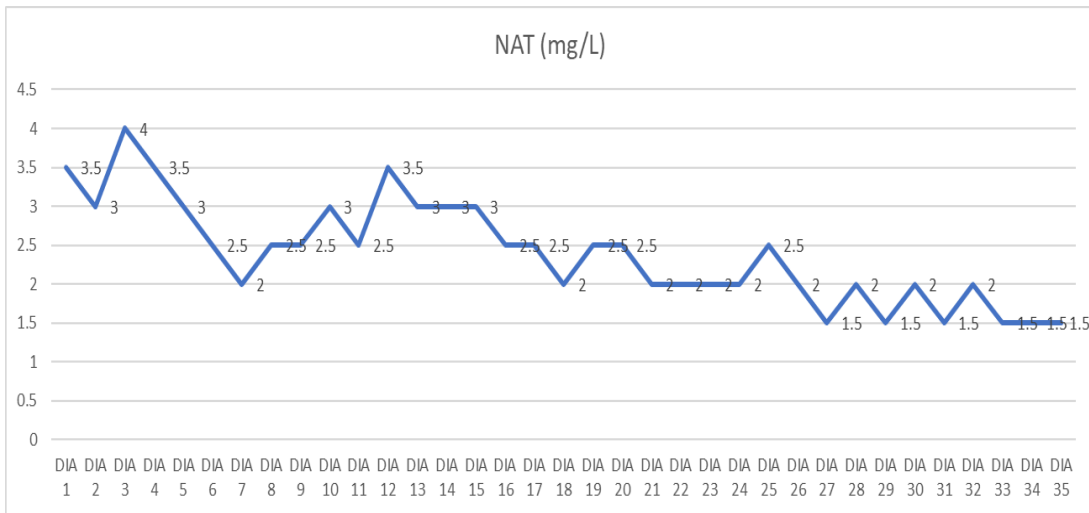


Figura 4. Concentración de NAT en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 2,4 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

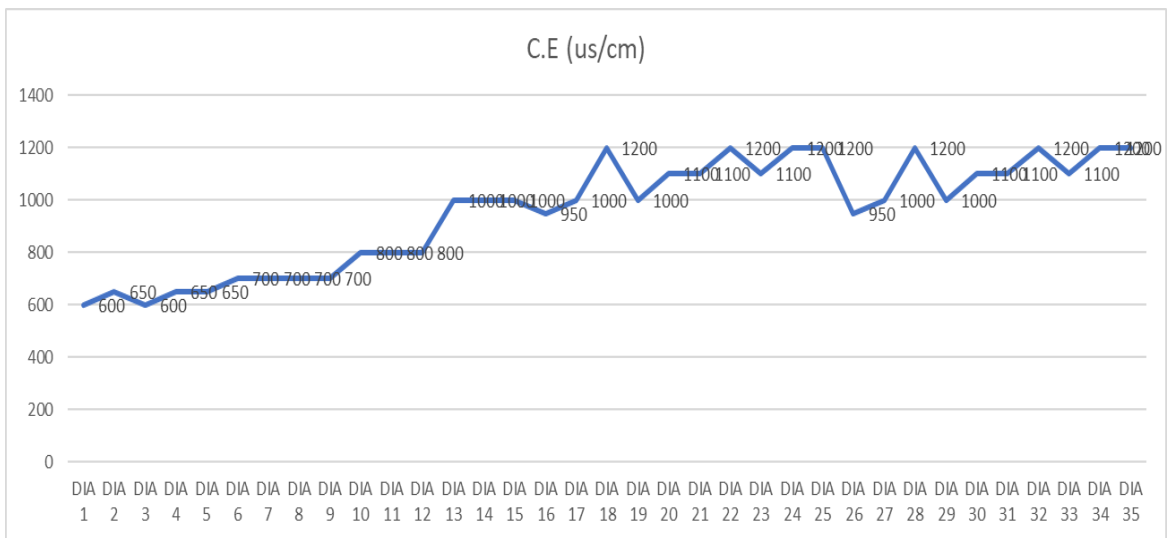


Figura 5. Concentración de conductividad eléctrica (C.E.) en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 955,7 us/cm, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

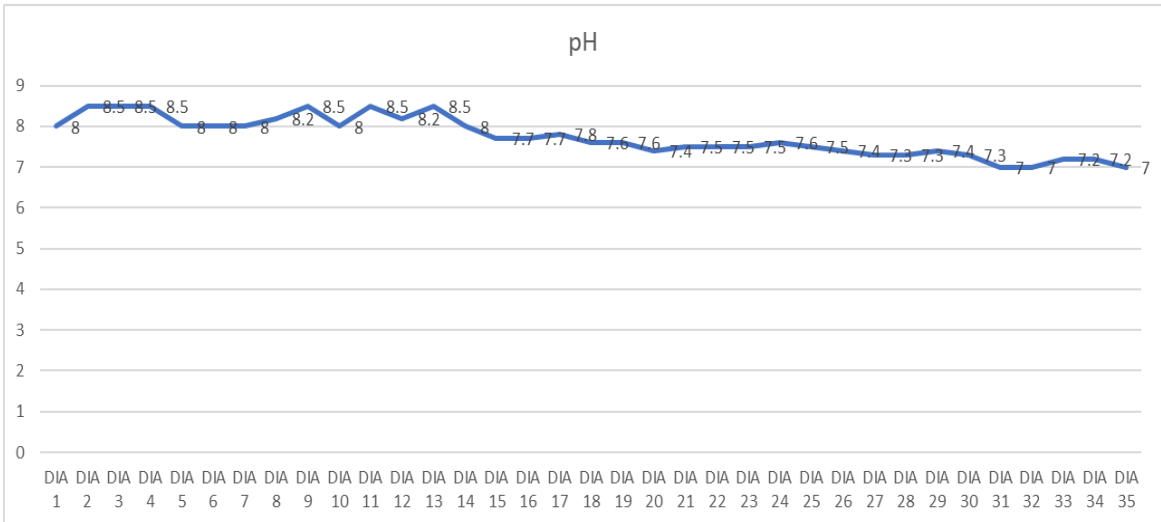


Figura 6. Nivel de pH en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 7,7, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

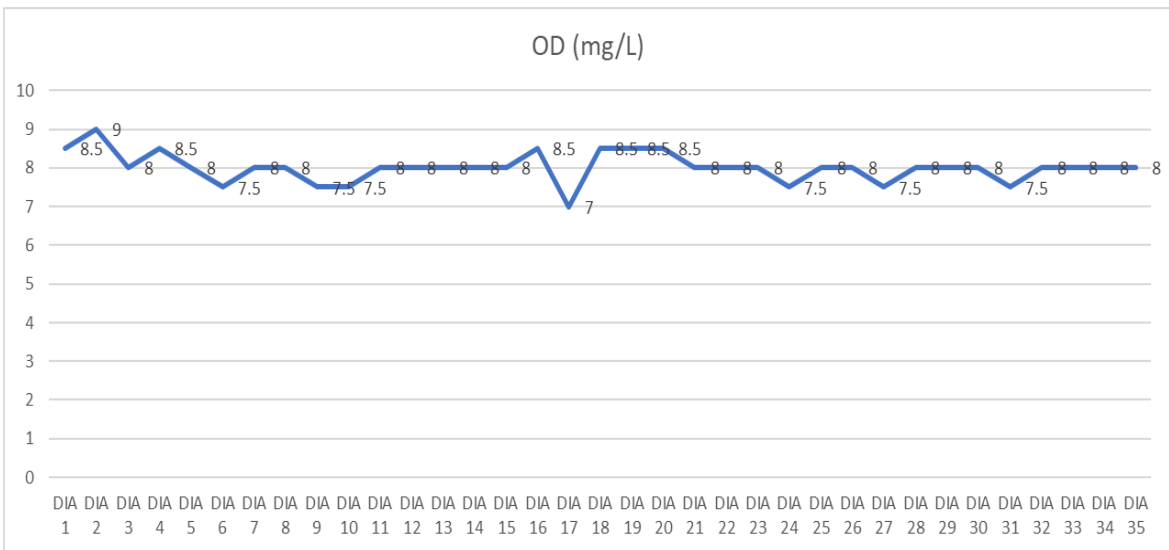


Figura 7. Nivel de Oxígeno Disuelto en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 8,0 (mg/L) rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

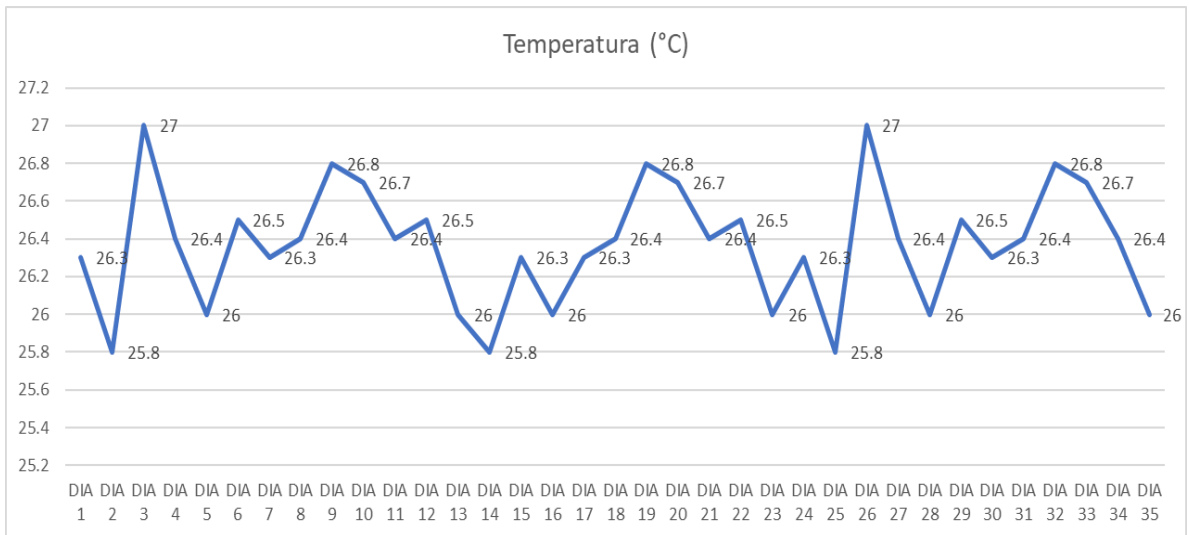


Figura 8. Nivel Temperatura en el sistema acuapónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 26,4 °C, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

4.1.2. Calidad de agua en el sistema acuapónico más fertilizante:

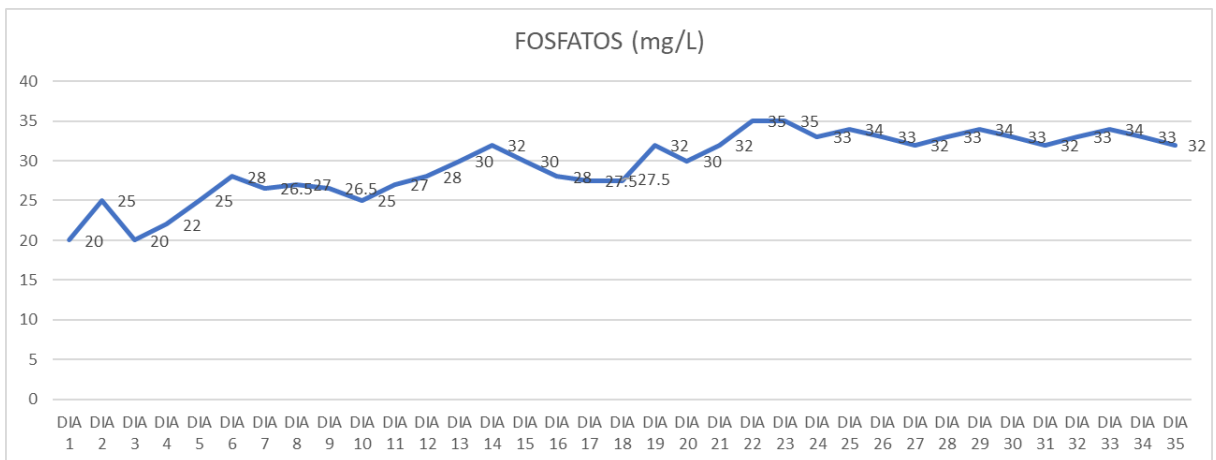


Figura 9. Concentración de fosfatos en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 29,6 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

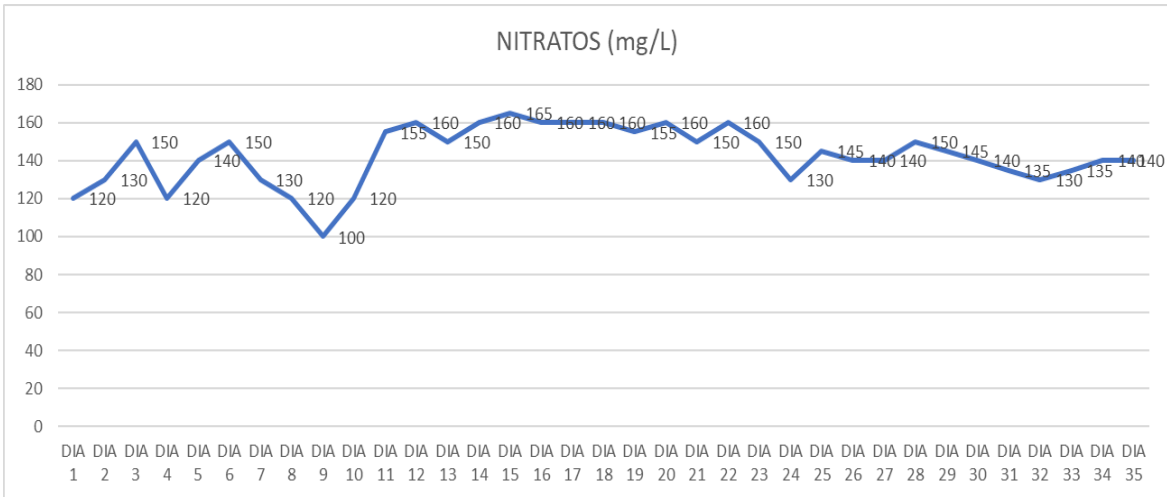


Figura 10. Concentración de nitratos en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 144,9 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

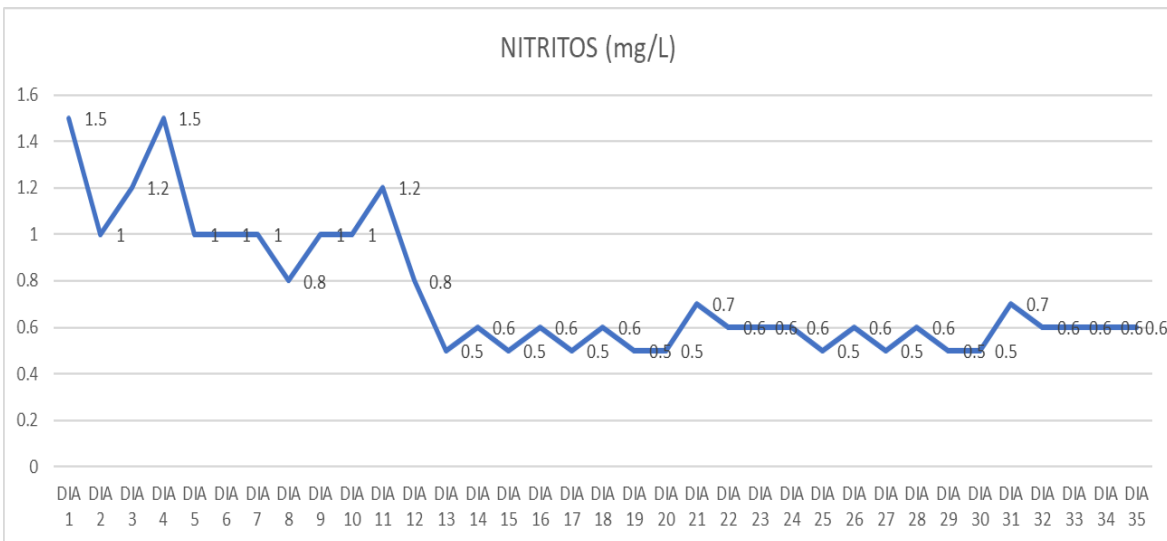


Figura 11. Concentración de nitritos en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 0,8 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

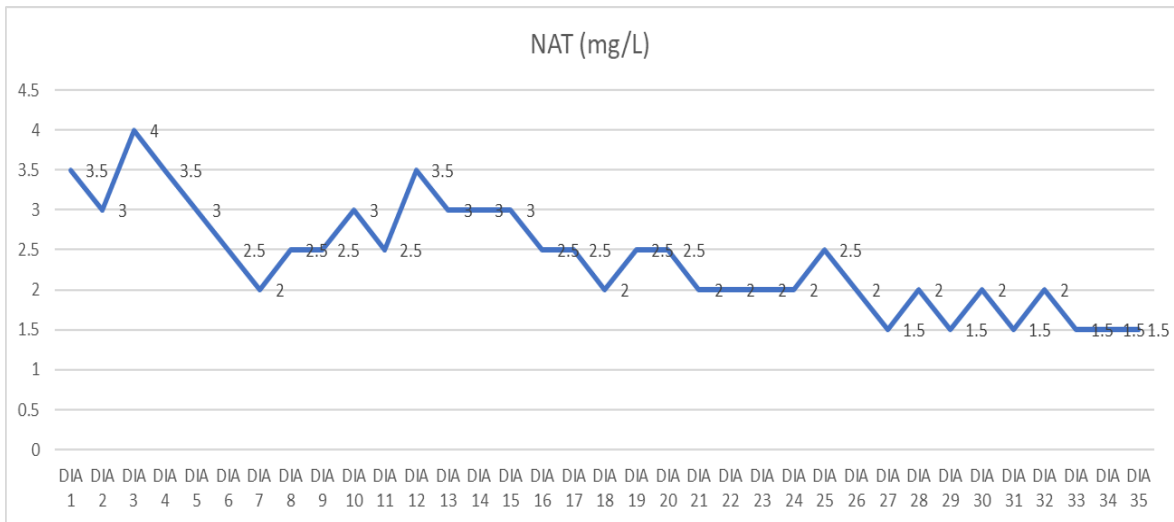


Figura 12. Concentración de NAT en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 2,9 mg/L, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

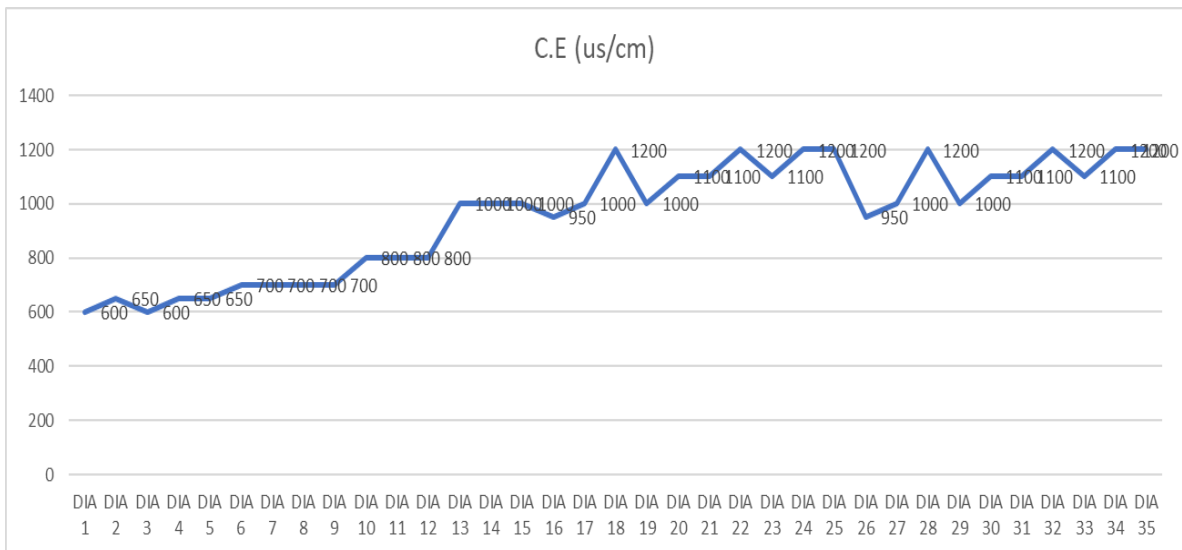


Figura 13. Concentración de conductividad eléctrica (C.E.) en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 962,9 us/cm, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

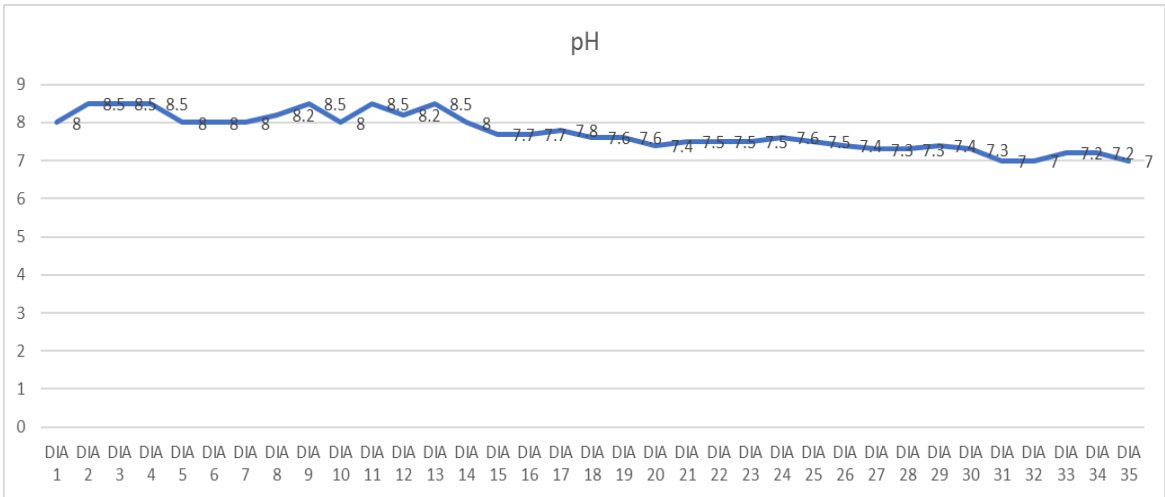


Figura 14. Nivel de pH en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 7,7, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

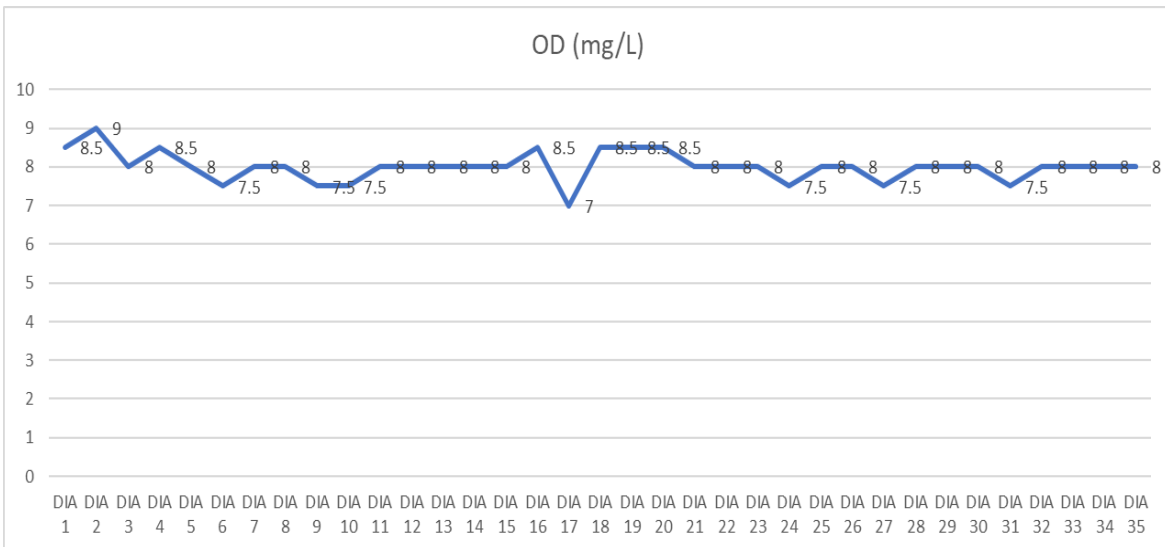


Figura 15. Nivel de Oxígeno Disuelto en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 8,0 (mg/L) rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

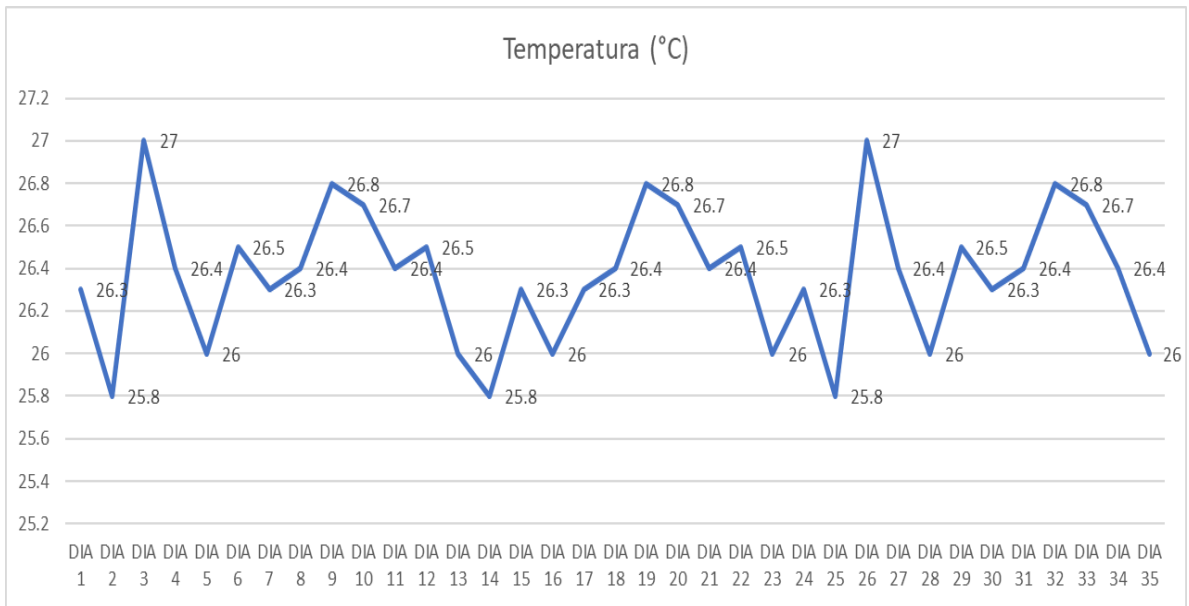


Figura 16. Nivel Temperatura en el sistema acuapónico más fertilizante foliar.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 26,4 °C, rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

4.1.3. Calidad de agua en el sistema hidropónico:

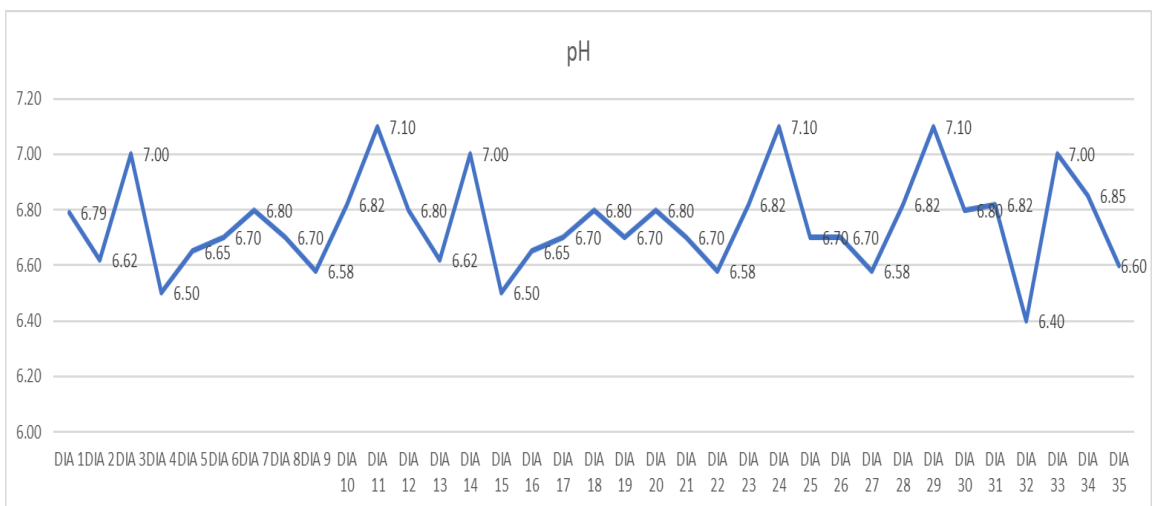


Figura 17. Nivel de pH en el sistema hidropónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 6,8, rango óptimo para la subsistencia de las especies agrícolas.

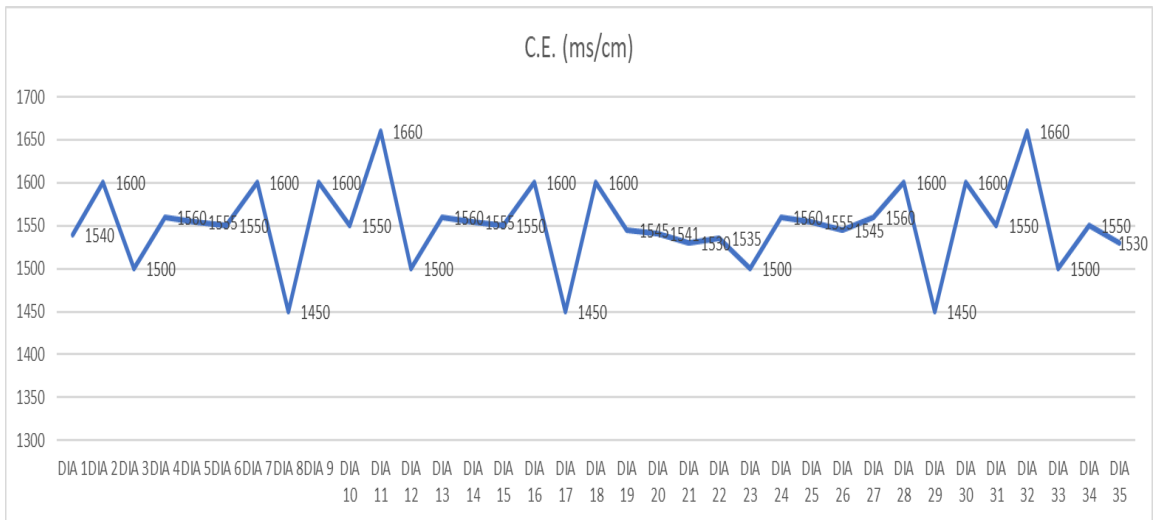


Figura 18. Concentración de conductividad eléctrica (C.E.) en el sistema hidropónico.
Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 1551,2 us/cm, rango óptimo para la subsistencia de las especies agrícolas.

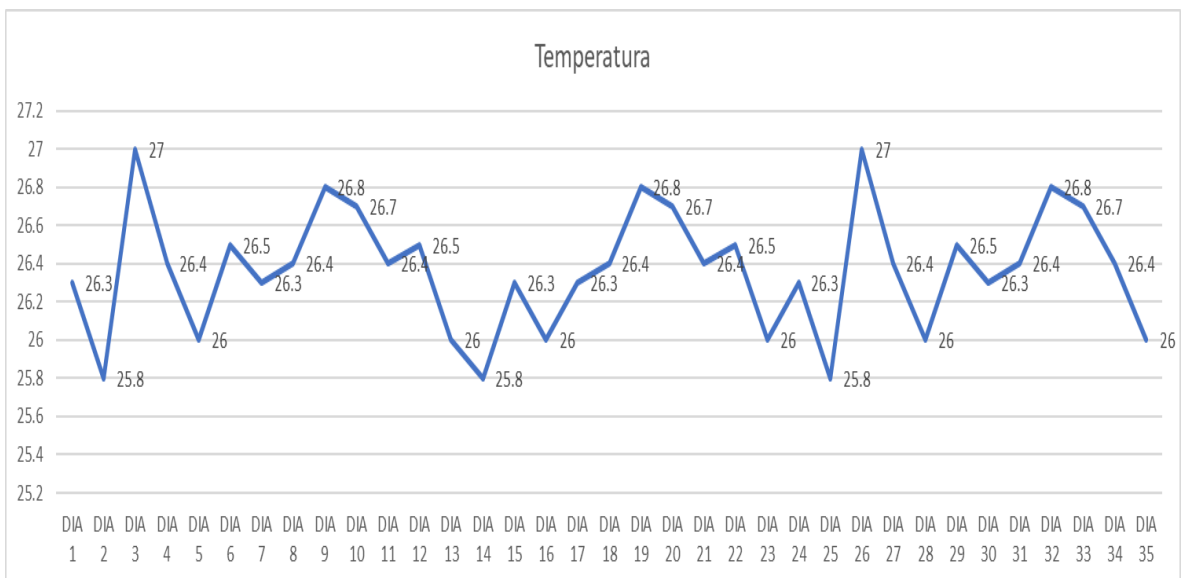


Figura 19. Nivel Temperatura en el sistema hidropónico.
Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 26,4 °C, rango óptimo para la subsistencia de las especies agrícolas.

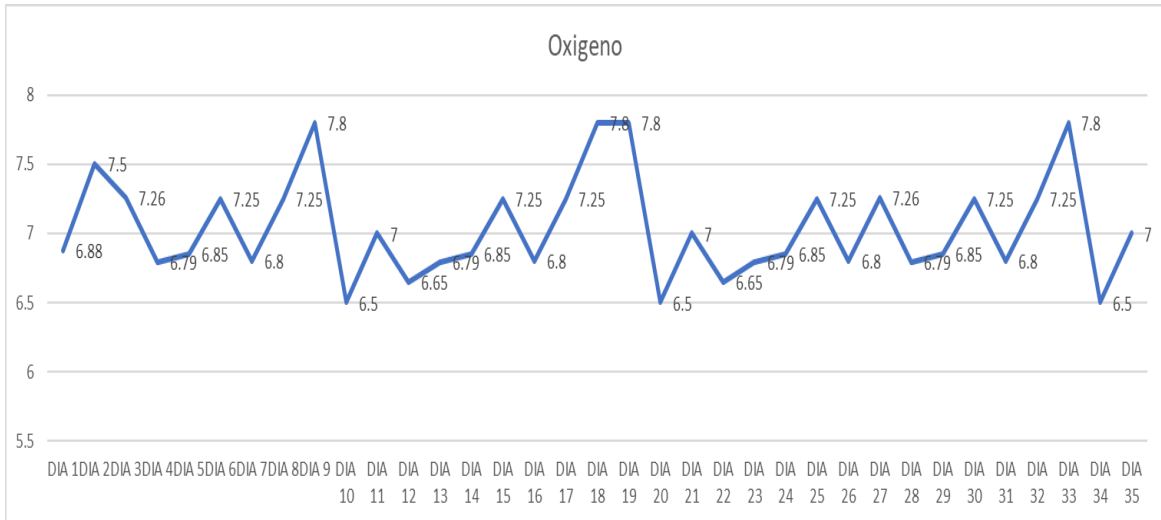


Figura 20. Nivel de Oxígeno Disuelto en el sistema hidropónico.

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en promedio se mantuvo en 7,0 (mg/L) rango óptimo para la subsistencia de las especies acuícolas y agrícolas.

4.2 Contrastación de hipótesis

Hipotesis General

H0. La fertilización foliar no tiene un efecto positivo en sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

H1. La fertilización foliar si tiene un efecto positivo en sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

Tabla 2. Datos promedio de los muestreos de las medidas de largo y ancho de hoja de lechuga.

| | | Largo hoja | Ancho hoja |
|---------------|-------------------|------------|------------|
| Tratamiento 1 | Acuaponía | 19.43 cm | 14.02 cm |
| Tratamiento 2 | Acuaponía + fert. | 21.93 cm | 16.52 cm |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Análisis de varianza de los pesos de las tilapias.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Pesos | | | | | |
| Tratamiento | 1 | 0.02 | 0.003 | 0.09 | 0.77 |
| Error | 10 | 0.04 | 0.004 | | |
| Total | 11 | 0.06 | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Datos promedio de los muestreos de los parámetros de calidad de agua.

| | FOSFATOS mg/L | NITRATOS mg/L | Nitritos mg/L | NAT mg/L | C.E. us/cm | pH | OD mg/L | Temp agua °C |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|---------------|-----|------------|-----------------|
| Acuaponía | 29.6 | 142.7 | 0.7 | 2.4 | 955.7 | 7.7 | 8.0 | 26.4 |
| Acuaponía + Fertilizante | 29.6 | 144.9 | 0.8 | 2.9 | 962.9 | 7.7 | 8.0 | 26.4 |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados de la tabla 2 la fertilización foliar tuvo un efecto positivo en el rendimiento de las hortalizas del sistema acuapónico más fertilizante en comparación del sistema que solo era acuapónico, aunque no genero un incremento de peso en las especies acuícolas como se observa en la tabla 3 se mantuvo dentro de los

rangos de peso de la especie, no influyendo de manera negativa, así mismo no genero un desbalance negativo en la calidad de agua como se evidencia en la tabla 4, ya que al ser un aditivo externo cavia la posibilidad de influir de manera negativa, sin embargo no fue este el caso. Por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Hipotesis especifica 1

H0. La fertilización foliar no tiene un efecto positivo en el rendimiento de *Lactuca sativa* (lechuga) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

H1. La fertilización foliar tiene un efecto positivo en el rendimiento de *Lactuca sativa* (lechuga) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

Tabla 5. Datos promedio de los muestreos de las medidas de largo y ancho de hoja de lechuga.

| | | Largo hoja | Ancho hoja |
|---------------|-------------------|------------|------------|
| Tratamiento 1 | Acuaponía | 19.43 cm | 14.02 cm |
| Tratamiento 2 | Acuaponía + fert. | 21.93 cm | 16.52 cm |
| Tratamiento 3 | Hidroponía | 22.03 cm | 16.62 cm |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados de la tabla 5 la fertilización foliar tuvo un efecto positivo en el rendimiento de las hortalizas del sistema acuapónico más fertilizante en comparación del sistema que solo era acuapónico, sin embargo, es necesario afinar más debido a que aún no es posible alcanzar la calidad de las hortalizas en sistema hidropónico. Por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Hipotesis especifica 2

H₀: La fertilización foliar no afecta en el rendimiento de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022.

H₁: La fertilización foliar si afecta en el rendimiento de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María - 2022.

Tabla 6. Análisis de varianza – Hipótesis especifica 2

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|----------------|-----------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Pesos | | | | | |
| Tratamiento | 1 | 0.02 | 0.003 | 0.09 | 0.77 |
| Error | 10 | 0.04 | 0.004 | | |
| Total | 11 | 0.06 | | | |
| Consumo | | | | | |
| Tratamiento | 1 | 0.05 | 0.048 | 0.06 | 0.99 |
| Error | 10 | 0.07 | 0.045 | | |
| Total | 11 | 0.12 | | | |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la tabla 6, podemos evidenciar que el p-valor resultante (tratamientos) del análisis de varianza en los **pesos y consumo** fue de 0.77 y 0.99 respectivamente, los cuales son mayor al nivel de significancia establecido $\alpha=0.05$. Por lo que, no se rechaza la hipótesis nula y, se concluye que no existe diferencia estadística significativa en el rendimiento promedio del crecimiento de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) en al menos uno de los tratamientos estudiados.

Hipotesis especifica 3

H0. La fertilización foliar afecta la calidad de agua del sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

H1. La fertilización foliar no afecta la calidad de agua del sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022.

Tabla 7. Datos promedio de los muestreos de los parámetros de calidad de agua.

| | FOSFATOS mg/L | NITRATOS mg/L | Nitritos mg/L | NAT mg/L | C.E. us/cm | pH | OD mg/L | Temp agua °C |
|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|---------------|-----|------------|-----------------|
| Acuaponía | 29.6 | 142.7 | 0.7 | 2.4 | 955.7 | 7.7 | 8.0 | 26.4 |
| Acuaponía + Fertilizante | 29.6 | 144.9 | 0.8 | 2.9 | 962.9 | 7.7 | 8.0 | 26.4 |

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en los resultados la fertilización foliar no tuvo efectos negativos en la calidad de agua de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga), lo que indica que el emplear los fertilizantes foliares en dosis recomendadas por el fabricante no incurre en efectos negativos generando desbalances en los nutrientes presentes en el agua, influyendo de manera negativa en la calidad de agua, por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

Como se observa en los resultados la fertilización foliar tuvo un efecto positivo en el rendimiento de las hortalizas del sistema acuapónico más fertilizante en comparación del sistema que solo era acuapónico, los rendimientos encontrados difieren de los hallados por Moreno y Zafra (2014), el cual consiguió una longitud de hoja de 16,6 cm., siendo mucho menor lo obtenido en comparación con lo hallado en nuestro estudio.

Se obtuvo que la fertilización foliar no influye de manera negativa, en los resultados la fertilización foliar no tuvo efectos negativos en la calidad de agua de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga), ya que no muestra cambios significativos en los parámetros medidos, lo que indica que el emplear los fertilizantes foliares en dosis recomendadas por el fabricante no incurre en efectos negativos en la calidad de agua. Resultados similares obtuvo Cisneros (2021), ya que este investigador observo como la adición de nutrientes deficitarios ayudo a mejorar la calidad de la hortaliza, sin embargo, observo que este no supero la calidad del producto proveniente de la hidroponía, y que a la vez no influyo de manera negativa en el rendimiento productivo de la tilapia. Así mismo coincidimos con Osorto, et. al. (2021) el cual manifiesta que los sistemas acuapónicos pueden ser una opción viable para la producción de alimentos de forma sostenible, en este estudio se adiciono distintos compuestos orgánicos para mejorar la calidad del efluente de peces, mejorándolo en micronutrientes, logrando de esta forma optimizar los parámetros agronómicos o rendimiento en peso fresco de lechuga en comparación con el cultivo hidropónico que emplearon para contrastar sus resultados. Caso contrario observo Reyes et. al. (2020), el cual evaluo el efecto de aplicaciones foliares de micronutrientes sobre la calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) producidos en acuaponía, llegando a encontrar que no afecto la aplicación foliar en el rendimiento de las plantas, sin embargo

se observó en el estudio que no indica que balance de biomasa, alimento y plantas empleó, siendo esta una de las razones por las cuales la disponibilidad del nitrato fue baja en comparación con lo normal que se encuentra en la crianza de especies acuícolas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Conclusión General: Se concluye que la fertilización foliar influye de manera positiva en el sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022, tiene un efecto positivo en el rendimiento de la lechuga, sin generar desbalances en la calidad de agua, ni efectos negativos que mermen el desarrollo de las especies acuícolas.

Conclusión 1: Se concluye que la fertilización foliar influye de manera positiva en el rendimiento de *Lactuca sativa* (lechuga) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022, ya que este, tiene un efecto positivo en el desarrollo de la calidad de la lechuga en el largo y ancho de la hoja obteniendo mejores resultados, sin embargo, aún no se supera la calidad del sistema hidropónico.

Conclusión 2: Se concluye que la fertilización foliar no tiene ningún efecto en el rendimiento de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) en sistema acuapónico en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022, ya que no existió influencia ni positiva ni negativa en el desarrollo y rendimiento productivo de la especie.

Conclusión 3: Se concluye que la fertilización foliar no tiene ningún efecto en la calidad de agua de un sistema acuapónico de *Oreochromis niloticus* (tilapia gris) y *Lactuca sativa* (lechuga) en el centro poblado Paraíso, Santa María – 2022, ya que no existió influencia ni positiva ni negativa en los parámetros de calidad de agua para la especie acuícola y agronómica.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda que se realicen más trabajos similares empleando nutrientes específicos para hacer más eficiente la absorción y evitar los desperdicios.
- Se recomienda que se realice trabajos similares en otras especies acuícolas y agrícolas para diversificar el empleo de esta tecnología.
- Se recomienda dimensionar el sistema con todo el proceso productivo de la especie acuícola para que pueda ser empleada en toda la etapa y no solo en etapas en donde existe mayor cantidad de biomasa acuícola.
- Se recomienda buscar y emplear un compuesto foliar que permita mejorar la característica de la dureza de la hoja y mejorar el tiempo de vida.
- Se recomienda analizar correctamente el balance materia entre alimento, peces y plantas, para evitar desbalances en la disponibilidad de nutrientes.

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

Ascate, & Céspedes. (2019). *Efecto de la tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de Oreochromis niloticus y Lactuca sativa en el crecimiento de las especies y en la disminución de nitrógeno del agua*. Nuevo Chimbote: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA.

Basantes, C. (2015). *Evaluación del uso de balanceado orgánico vs el alimento industrial sobre la conversión alimenticia de la Oreochromis Sp (Tilapia) criada en cultivo intensivo*. Ecuador: Universidad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6944/1/TESIS%20DE%20TILAPIA%200apa%20apa.pdf>

Castro, J. (2012). *Efecto de dos dietas con diferente nivel proteico en la crianza de Oreochromis niloticus Tilapia en sistema cerrado*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

Cisneros, K. (2021). *PRODUCCIÓN ACUAPÓNICA DE TILAPIA DEL NILO (Oreochromis niloticus) Y LECHUGA (Lactuca sativa) CON ADICIÓN DE NUTRIENTES DEFICITARIOS EN EL SISTEMA*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

7.2 Fuentes bibliográficas

Delgado. (2020). *Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia (Oreochromis sp.) en acuaponía*. LIMA: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.

Delgado, Alarcón, Caluguillín, Noles, & Delgado. (2019). Sistemas acuapónicos para el desarrollo sostenible de las zonas rurales de Manabí. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 186 - 192.

FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación.

Giró, A. (2008). *Evaluación del rendimiento de lechuga (Lactuca sativa L.) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa Agustina Xolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu*. Guatemala: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

Hennecke, A., & Rettenmaier, N. (2014). Sustainable Land Use: Food Production or Fuels. En Silverman, Goetz, & Garrido, *Competition and Conflicts on Resource Use. Natural Resource Management and Policy* (págs. 245-258). Springer.

- Hualinga, K. (2013). *Efecto Del Probiótico Em® Agua En El Crecimiento Y Composición Corporal De Alevinos De Piaractus Brachyomus Paco (Cuvier, 1818) (Pisces, Serrasalmidae), Cultivados En Corrales, Cicmcr – IIAP – Bello Horizonte, San Martín*. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.
- Huallpa, L. (2021). *Balance de Biomasa de entre la tilapia Oreochromis niloticus y pepino dulce Solanum muricatum en sistema de acuaponía por NFT (NUTRIENT FILM TECHNIQUE) que genera rentabilidad económica, Tacna 2017*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Intagri. (12 de 02 de 2023). *La Absorción de Nutrientes en Fertilización Foliar*. Obtenido de La Absorción de Nutrientes en Fertilización Foliar: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-absorcion-de-nutrientes-a-traves-de-la-fertilizacion-foliar>
- López, G. (2020). *Evaluación de un sistema acuapónico de pequeña escala, para la producción limpia de tilapia roja (Oreochromis sp), cachama blanca (Piaractus brachyomus) y rúgula (Eruca vesicaria sativa)*. Cundinamarca: Universidad Militar Nueva Granada .
- Martinez, J. (2020). *Sistema acuapónico para la producción de lechuga (Lactuca sativa) y tilapia (Oreochromis niloticus), Santa Ana - 2020*. Ecuador: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Merino, Salazar, & Gomez. (2006). *Guía práctica de piscicultura en Colombia*. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Desarrollo Rural - INCODER.
- Ministerio de la Producción – PRODUCE. (2020). *ANUARIO ESTADÍSTICO PESQUERO Y ACUÍCOLA – 2020*. Lima: Ministerio de la Producción.
- Morales. (2019). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO PROTOTIPO, APLICADO A TILAPIA GRIS (Oreochromis niloticus) Y ALBAHACA (Ocimum basilicum)*. Lima: Universidad Federico Villareal .
- Moreno, & Zafra. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, Lactuca sativa, con efluentes de cultivo de tilapia. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 60 - 72.
- Pinedo, R. (2022). *Fitorremediación de aguas no consuntivas de piscigranja con Oreochromis niloticus, mediante acuaponía con Eryngium foetidum L, Morales, 2021*. Tarapoto: Universidad Cesar Vallejo.
- Pizzini, P. (2017). *Evaluación De La Inclusión De Harina De Camote (Ipomoea Batatas) En Dietas De Alevinos De Tilapia Roja (Oreochromis Spp.) Sobre Su Comportamiento Productivo En Condiciones De Laboratorio*. Lima: Univarsidad Nacional Agraria la Molina.
- Ponce, M. (2014). *Evaluación De Un Promotor Multifuncional En La Dieta Sobre El Comportamiento Productivo De Juveniles De Trucha (Oncorhynchus Mykiss)*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Porteros, L. (2019). *Crecimiento de Oreochromis niloticus "tilapia nilótica" etapa de levante cultivada a dos densidades en San Juan de Curumuy, 2018*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Saldaña, G. (2011). *Efecto de dietas con diferentes concentraciones de Lactobacillus sp enriquecido con proteína hidrolizada de visceras de Argopecten purpuratus, sobre el crecimiento y supervivencia de alevines de Oreochromis niloticus en laboratorio*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5926/Tesis%20Doctorado%20-%20Guillermo%20Salda%20C3%B1a%20Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, A. (2017). *Dinámica de nutrientes en sistemas cerrados de recirculación en el cultivo de Piaractus brachyomus, Oreochromis sp y Cyprinus carpio, para su aplicación en la acuaponía*. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Vargas, 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: Universidad Cesar Vallejo.
- Villareal, S. (2008). *Elaboración de una dieta balanceada utilizando gallinaza como fuente alternativa de proteína en la alimentación de tilapia roja macho (Oreochromis spp.)*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/439/1/03%20AGI%20210%20TESIS.pdf>

7.3 Fuentes hemerográficas

- Rabasso, M. (2006). *Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos*. España: Fundación Universitaria de Las Palmas.
- Rakocy, J., Masser, M., & Losordo, T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—Integrating fish and plant culture. *Southern Regional*, 16.
- Reyes, Sandoval, Rodríguez, & Trejo. (2020). Tomate de calidad (*Solanum lycopersicum* L.) producido en acuaponía complementado con fertilización foliar de micronutrientes. *Agroproductividad*, 79-86.

7.4 Fuentes electrónicas

- Nelson, R., & Pade, J. (2008). *Aquaponic food production: Raising fish and vegetables for food and profit*. United States of America: Nelson & Pade.
- Osorto, Sierra, Paz, Ramirez, & Zamorano. (2021). *Producción de lechuga en acuaponía con adición de fertilizantes orgánicos líquidos y bacterias promotoras de crecimiento*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.

- Ovando, M. (2013). LA ACUICULTURA Y SUS EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE. *Espacio Innovación - Desarrollo*, 61-80.
- Pardo, S., Suárez, H., & Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba*, 11-20.

ANEXOS

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|----|-----|-------------|----------|---------|----|
| | Dia | Tratamiento | Ganancia | RESI | |
| 1 | 0 | 1 | 12.10 | 2.29093 | |
| 2 | 0 | 1 | 11.70 | 1.89093 | |
| 3 | 0 | 1 | 11.70 | 1.89093 | |
| 4 | 0 | 1 | 12.30 | 2.49093 | |
| 5 | 0 | 1 | 11.80 | 1.99093 | |
| 6 | 0 | 1 | 11.70 | 1.89093 | |
| 7 | 0 | 1 | 12.30 | 2.49093 | |
| 8 | 0 | 1 | 11.50 | 1.69093 | |
| 9 | 0 | 1 | 11.80 | 1.99093 | |
| 10 | 0 | 1 | 11.70 | 1.89093 | |
| 11 | 0 | 1 | 12.30 | 2.49093 | |
| 12 | 0 | 1 | 11.20 | 1.39093 | |
| 13 | 0 | 1 | 12.50 | 2.69093 | |
| 14 | 0 | 1 | 12.00 | 2.19093 | |
| 15 | 0 | 1 | 11.50 | 1.69093 | |
| 16 | 0 | 1 | 11.40 | 1.59093 | |
| 17 | 0 | 1 | 11.00 | 1.19093 | |
| 18 | 0 | 1 | 11.50 | 1.69093 | |
| 19 | 0 | 1 | 12.70 | 2.89093 | |
| 20 | 0 | 1 | 11.40 | 1.59093 | |
| 21 | 0 | 1 | 11.00 | 1.19093 | |

Fuente: Base de datos en Minitab

| | | PLANTA 1 | | PLANTA 2 | | PLANTA 3 | | PLANTA 4 | | | | |
|----|--|------------|------------|----------|------------|------------|------|------------|------------|------|-----|-----|
| | | LARGO HOJA | ANCHO HOJA | suma | LARGO HOJA | ANCHO HOJA | suma | LARGO HOJA | ANCHO HOJA | | | |
| 3 | TRATAMIENTO 1 ACUAPONIA | 7.6 | 4.5 | 12.1 | 7.2 | 4.5 | 11.7 | 7.5 | 4.2 | 11.7 | 7.3 | 5 |
| 4 | | 7 | 4.2 | 11.2 | 7.5 | 5 | 12.5 | 7.4 | 4.6 | 12 | 7.5 | 4 |
| 5 | | 7.5 | 4.6 | 12.1 | 7.4 | 5.5 | 12.9 | 7.2 | 4.5 | 11.7 | 6.8 | 3.8 |
| 6 | | 7.5 | 4.5 | 12 | 7.2 | 4.5 | 11.7 | 7.3 | 3.8 | 11.1 | 6.5 | 4.5 |
| 7 | | 7.2 | 4.2 | 11.4 | 6.5 | 3.9 | 10.4 | 7.5 | 4.5 | 12 | 7.5 | 3.9 |
| 8 | | 6.8 | 4 | 10.8 | 7 | 4.2 | 11.2 | 6.8 | 3.9 | 10.7 | 7 | 4.2 |
| 9 | TRATAMIENTO 2 ACUAPONIA + FERTILIZANTE | 7 | 4.5 | 11.5 | 7.2 | 5 | 12.2 | 7 | 4.5 | 11.5 | 7.2 | 5 |
| 10 | | 7.7 | 5 | 12.7 | 7.5 | 4 | 11.5 | 7.7 | 3.5 | 11.2 | 7.5 | 4 |
| 11 | | 8 | 6 | 14 | 7.4 | 3.8 | 11.2 | 8 | 4 | 12 | 7.4 | 3.8 |
| 12 | | 6.5 | 3.5 | 10 | 7.2 | 4.5 | 11.7 | 6.5 | 5 | 11.5 | 7.2 | 4.5 |
| 13 | | 7.5 | 3.3 | 10.8 | 6.5 | 3.9 | 10.4 | 7.5 | 4 | 11.5 | 6.5 | 3.9 |
| 14 | | 7.5 | 4 | 11.5 | 7 | 4.2 | 11.2 | 7.5 | 3.8 | 11.3 | 7 | 4.2 |
| 15 | TRATAMIENTO 3 HIDROPONIA | 7.3 | 4.5 | 11.8 | 7.2 | 4.5 | 11.7 | 7.3 | 5 | 12.3 | 7 | 4.5 |
| 16 | | 7.5 | 3.9 | 11.4 | 7.5 | 3.5 | 11 | 7.5 | 4 | 11.5 | 7.7 | 5 |
| 17 | | 6.8 | 4.2 | 11 | 7.4 | 4 | 11.4 | 6.8 | 3.8 | 10.6 | 8 | 6 |
| 18 | | 6.5 | 4 | 10.5 | 7.2 | 5 | 12.2 | 6.5 | 4.5 | 11 | 6.5 | 3.5 |
| 19 | | 7.5 | 5 | 12.5 | 6.5 | 4 | 10.5 | 7.5 | 3.9 | 11.4 | 7.5 | 3.3 |
| 20 | | 7 | 3.5 | 10.5 | 7 | 3.8 | 10.8 | 7 | 4.2 | 11.2 | 7.5 | 4 |

Fuente: Base de datos en Excel



Fuente: medición de temperatura agua



Fuente: adquisición de las especies



Fuente: adquisición de plantines de lechuga



Fuente: sembrado de plantines



Fuente: biometría de peces



Fuente: ejemplar de tilapia



Fuente: Acuaponía sin suplementación foliar



Fuente: acuaponía más fertilización foliar

[Indique los nombres y apellidos completos del asesor o director]
ASESOR

[Indique los nombres y apellidos completos del presidente]
PRESIDENTE

[Indique los nombres y apellidos completos del secretario]
SECRETARIO

[Indique los nombres y apellidos completos del primer vocal]
VOCAL

[Indique los nombres y apellidos completos del segundo vocal]
VOCAL

[Indique los nombres y apellidos completos del tercer vocal]
VOCAL