

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera**

**EFICIENCIA DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE TRUCHA ARCO  
IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) PARA EL CULTIVO DE  
LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN OLLARAYA,  
REGIÓN PUNO**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. MAGALY SHIRLY PAYE SONCO**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO PESQUERO**

**TACNA – PERÚ**

**2022**

# UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias


Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera

## “EFICIENCIA DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) PARA EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN OLLARAYA, REGIÓN PUNO”


Tesis sustentada y aprobada el 05 de setiembre del 2022; estando el jurado calificador y asesor integrado por:

PRESIDENTE : 

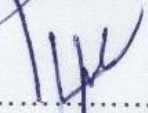
MSc. Barrios Moquillaza Luis Alberto

SECRETARIO : 

Dr. Rivera Chipana Luis Alberto Bernardo

MIEMBRO : 

MSc. Montalico Pongo Ederson Juan

ASESOR : 

Dr. Isique Calderón Julio César

## DEDICATORIA

*Papá Lázaro por darme la vida, creer en mí y porque siempre me apoyaste, eres el motor y motivo de mi vida, quien me inculcó la responsabilidad y deseo de superación, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar por tus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan admirarla cada día más.*

*Para ti mamita Juana por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante por su gran e incondicional amor y su total apoyo.*

*A mis hermanos, José, Armando y Milagros por haber estado cuando los necesité.*

*A mis tíos, Tobías, Julia y Elida le dedico este trabajo de investigación con toda gratitud, por ser parte de mi familia y de mi vida. Por demostrarme afecto y amor incondicional, agradezco infinitamente el apoyo en mi carrera universitaria.*

*Amér, por haberme motivado desde el inicio por confiar en mí y decirme día a día que lo iba lograr.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor por estar conmigo en cada paso que doy.*

*Mi agradecimiento al Dr. Julio Cesar Isique Calderón asesor del presente trabajo de investigación por las críticas, reflexiones durante el desarrollo de la presente investigación.*

*A los docentes de la escuela de ingeniería pesquera por brindarme sus enseñanzas y orientaciones que contribuyeron a mi formación profesional.*

*A la universidad nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna que me dió la oportunidad de formarme profesionalmente.*

## CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I .....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.2.1. Interrogante general.....	5
1.2.2. Interrogantes secundarias.....	5
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	6
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8

1.4.2. Objetivos específicos .....	8
1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	8
1.5.1. Hipótesis general .....	9
1.5.2. Hipótesis específica .....	9
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>10</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	13
2.2. BASES TEÓRICAS.....	18
2.2.1. Acuaponía.....	18
2.2.2. Sistema acuapónico.....	19
2.2.3. Componentes de un sistema acuapónico. ....	22
2.2.4. Componentes biológicos del sistema acuapónico.....	25
2.2.5. Importancia del cultivo de lechuga .....	30
2.2.6. Requerimientos edafoclimáticos .....	36
2.2.7. Balance del sistema acuapónico.....	37
2.2.8. Acuicultura en el Perú.....	42

2.2.9. Descripción de la especie .....	43
2.2.9.6. Estructura de Cultivo.....	47
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	51
2.3.1. Biomasa.....	51
2.3.2. Muestra.....	51
2.3.3. Tasas de crecimiento del pez.....	51
2.3.5. El nitrato .....	52
2.7.6. Efluente .....	52
2.7.7. Sedimentos.....	52
2.7.8. Bacterias nitrificantes.....	53
2.7.9. Eficiencia .....	53
2.7.10. Eficacia .....	53
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>54</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>54</b>
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....	54
3.2. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	55
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	56
3.3.1. Variable independiente .....	56

3.3.2. Variable dependiente .....	56
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	58
3.4.1. Población .....	58
3.4.2. Muestra.....	58
3.5. EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES .....	59
3.6. METODOLOGÍA.....	61
3.6.1. Implementación y conducción del experimento .....	61
3.6.2. Parámetros físicos químicos del sistema acuapónico .....	77
3.6.3. biometría de lechuga y trucha arco iris.....	82
3.7. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS ....	86
3.8. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS. ....	87
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>89</b>
<b>PRESENTACION DE RESULTADOS.....</b>	<b>89</b>
4.1. RESULTADOS .....	89
4.1.1. Objetivo general.....	89
4.1.2. Objetivo específico 1 .....	94
4.1.3. Objetivo específico 2.....	98

4.1.4. Objetivo específico 3.....	112
4.1.5. Hipótesis general .....	115
4.1.6. Hipótesis específica .....	119
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>122</b>
<b>DISCUSIONES.....</b>	<b>122</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>131</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>133</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>150</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Configuración general de un sistema acuapónico. ....	19
<b>Figura 2.</b> Sistema acuapónico simple.....	20
<b>Figura 3.</b> Camas hidropónicas con sustrato sólido .....	28
<b>Figura 4.</b> Sistema hidropónico de raíz flotante .....	29
<b>Figura 5.</b> Sistema de cultivo de solución nutritiva recirculante. ....	30
<b>Figura 6.</b> Principales países productores de lechuga .....	31
<b>Figura 7.</b> Lechuga de hoja o de amarra .....	33
<b>Figura 8.</b> Lechuga romana .....	33
<b>Figura 9.</b> Lechuga española.....	34
<b>Figura 10.</b> Lechugas de hojas sueltas.....	35
<b>Figura 11.</b> Lechuga esparrago .....	35
<b>Figura 12.</b> Exportaciones de productos acuícolas .....	43
<b>Figura 13.</b> Trucha arcoíris .....	44
<b>Figura 14.</b> Tabla de alimentación de truchas.....	46
<b>Figura 15.</b> Ubicación geográfica.....	54
<b>Figura 16.</b> Metodología seguida para la implementación y conducción del sistema acuapónico. ....	61

<b>Figura 17.</b> Lugar de experimento. ....	62
<b>Figura 18.</b> Tríplex crudo para caja hidropónica .....	63
<b>Figura 19.</b> Armado de caja de raíz flotante .....	64
<b>Figura 20.</b> Cubierta de plástico de la caja hidropónica en raíz flotante....	64
<b>Figura 21.</b> Perforación del poliestireno expandido (Tecnopor). ....	65
<b>Figura 22.</b> Tanque para peces. ....	66
<b>Figura 23.</b> Biofiltro.....	67
<b>Figura 24.</b> Filtro mecánico.....	68
<b>Figura 25.</b> Sumidero .....	69
<b>Figura 26.</b> Bomba de agua sumergible. ....	70
<b>Figura 27.</b> Instalación de tuberías .....	70
<b>Figura 28.</b> Siembra de alevín .....	71
<b>Figura 29.</b> Alimento suministrado.....	73
<b>Figura 30.</b> Plántulas de lechuga.....	74
<b>Figura 31.</b> Plántulas de lechugas listas para acuaponía. ....	74
<b>Figura 32:</b> Crecimiento a los 15 días de las plántulas de lechuga.....	75
<b>Figura 33.</b> Lechugas en sistema convencional a los 30 días.....	76
<b>Figura 34.</b> Lechuga convencional a los 60 días de trasplantado .....	76

<b>Figura 35.</b> Freshwater test kit de API.....	77
<b>Figura 36.</b> Determinación de pH del agua .....	78
<b>Figura 37.</b> Determinación de amonio .....	79
<b>Figura 38.</b> Determinación del nitrito .....	79
<b>Figura 39.</b> Determinación de nitratos .....	80
<b>Figura 40.</b> Medición de cantidad de oxígeno .....	81
<b>Figura 41.</b> Medición de C.E.....	81
<b>Figura 42.</b> Medición de temperatura .....	82
<b>Figura 43.</b> Medición de longitud de raíz. ....	83
<b>Figura 44.</b> Medición de longitud de hoja.....	83
<b>Figura 45.</b> Peso de la lechuga.....	84
<b>Figura 46.</b> Longitud de la trucha.....	85
<b>Figura 47.</b> Peso de la trucha .....	85
<b>Figura 48.</b> Biometría de trucha arco iris. ....	90
<b>Figura 49.</b> Peso fresco de lechuga acuapónica y convencional. ....	92
<b>Figura 50.</b> Longitud de lechuga acuapónica y convencional. ....	93
<b>Figura 51.</b> Diseño e implementación del sistema acuapónico. ....	94
<b>Figura 52.</b> Procesos para la implementación del sistema.....	95

<b>Figura 53.</b> Sistema acuapónico piloto (antes y después) .....	98
<b>Figura 54.</b> Promedio de niveles de temperatura.....	100
<b>Figura 55.</b> Promedio de niveles de conductividad eléctrica .....	102
<b>Figura 56.</b> Pasos para la medición de amonio .....	103
<b>Figura 57.</b> Promedio de niveles de amonio .....	104
<b>Figura 58.</b> Pasos para la medición de nitritos.....	105
<b>Figura 59.</b> Promedio de niveles de nitritos .....	106
<b>Figura 60.</b> Pasos para la medición de nitratos .....	107
<b>Figura 61.</b> Promedio de niveles de nitratos .....	108
<b>Figura 62.</b> Promedio de niveles de pH .....	110
<b>Figura 63.</b> Promedio de niveles de oxígeno disuelto .....	112
<b>Figura 64.</b> Región de aceptación de la hipótesis de comparación de la longitud de lechuga.....	117
<b>Figura 65.</b> Región de aceptación de la hipótesis de comparación del peso de lechuga.....	118

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Rangos generales de tolerancia de calidad de agua para peces en aguas cálidas y aguas frías, plantas y bacterias nitrificantes. ....	38
<b>Tabla 2.</b> Comportamiento de trucha en función al nivel de O <sub>2</sub> del agua de crianza.....	40
<b>Tabla 3.</b> Parámetros de cultivo para trucha. ....	44
<b>Tabla 4.</b> Información nutricional proximal de alimento Nicovita .....	49
<b>Tabla 5.</b> Consumo del alimento. ....	49
<b>Tabla 6.</b> Operacionalización de variables de la eficiencia del sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) para el cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ). ....	57
<b>Tabla 7.</b> Equipos, instrumentos y materiales. ....	59
<b>Tabla 8.</b> Concentrado nutricional de Nicovita (truchas) .....	72
<b>Tabla 9.</b> Tasas de crecimiento de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) .....	89
<b>Tabla 10.</b> Tasas de crecimiento promedio de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )..	91
<b>Tabla 11.</b> Niveles de temperatura promedio en el efluente .....	99
<b>Tabla 12.</b> Niveles de conductividad eléctrica registrados en los efluentes del sistema .....	101

<b>Tabla 13.</b> Niveles de amonio registrado en los efluentes del sistema ...	103
<b>Tabla 14.</b> Niveles de nitrito en los efluentes del sistema.....	105
<b>Tabla 15.</b> Niveles de nitrato en los efluentes del sistema .....	107
<b>Tabla 16.</b> Niveles de pH en los efluentes del sistema.....	109
<b>Tabla 17.</b> Niveles de oxígeno disuelto en los efluentes del sistema .....	111
<b>Tabla 18.</b> Comparación de la producción de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ).	113
<b>Tabla 19.</b> Comparación de medias para determinar la eficiencia en longitud de lechuga.....	116
<b>Tabla 20.</b> Comparación de medias para determinar la eficiencia en peso fresco de lechuga .....	117
<b>Tabla 21.</b> Comparación de medias entre la producción de la lechuga de un sistema acuapónico y la de un cultivo convencional. ....	120

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia.....	151
<b>Anexo 2.</b> Biometría en relación al peso de truchas .....	152
<b>Anexo 3.</b> Biometría en relación a longitud de la trucha .....	153
<b>Anexo 4.</b> Promedio de biometría de lechugas.....	154
<b>Anexo 5.</b> Certificado de análisis proximal de la lechuga convencional ..	155
<b>Anexo 6.</b> Certificado de análisis proximal de la lechuga acuapónica.....	156
<b>Anexo 7.</b> Tabla T- Student .....	157
<b>Anexo 8.</b> Gráfico de las curvas de concentración de Amonio, nitrito y nitrato .....	158
<b>Anexo 9.</b> Evidencia fotográfica del proyecto.....	158
<b>Anexo 10.</b> Costos de inversión equipamiento y materiales .....	163
<b>Anexo 11.</b> Diferencia entre incremento de crecimiento .....	164

## RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo principal determinar la eficiencia del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*), frente a un cultivo convencional en Ollaraya. El tipo de investigación fue aplicada de diseño no experimental, descriptivo y comparativo; como técnica de recolección de información se aplicó la observación directa y como instrumento la ficha de recolección de datos. La eficiencia se fijó en la capacidad de aprovechamiento del efluente en la producción de lechugas, tamaño, peso y tasas de crecimiento. Los resultados obtenidos indican que la lechuga acuapónica obtuvo un mayor peso de 315 g equivalente a una ganancia de 4,98 g/d, mientras que las lechugas cultivadas convencionalmente obtuvieron un peso promedio de 112 g con una ganancia de peso fresco 1,76 g/d; Asimismo, el sistema registró niveles de concentración de amonio 0,23 ml/l; nitritos de 0,22 ml/l; nitratos 75 ml/l; pH de 6,8; temperatura de 17 °C; CE 1,4 dS/m y oxígeno disuelto que fluctúa en 8,5 mg/l en promedio. Considerando los resultados se concluye que el cultivo acuapónico es eficiente frente a la convencional porque presentaron parámetros fisicoquímicos favorables para el crecimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa*).

**Palabras claves:** Acuaponía, trucha, lechuga, eficiencia, raíz flotante

## ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the efficiency of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and lettuce (*Lactuca sativa*) aquaponic system, compared to a conventional crop in Ollaraya. The type of research was applied with a now experimental, descriptive and comparative design; Direct observation was applied as the data collection technique and the data collection sheet as an instrument. Efficiency was determined by the capacity to use the effluent in lettuce production, size, weight and growth rates. The results obtained indicate that the aquaponic lettuce obtained a greater weight of 315 g equivalent to a gain of 4,98 g/d, while the conventionally grown lettuce obtained an average weight of 112 g with a fresh weight gain of 1,76 g/d; Likewise, the system registered ammonium concentration levels of 0,23 ml/l; nitrites of 0,22 ml/l; nitrates 75 ml/l; pH 6,8; temperature of 17°C; EC 1,4 dS/m and dissolved oxygen that fluctuates at 8,5 mg/l on average. Considering the results, it is concluded that the aquaponic culture is efficient compared to the conventional one because they presented favorable physicochemical parameters for the growth and production of lettuce (*Lactuca sativa*).

**Keywords:** Aquaponics, trout, lettuce, efficiency, floating root

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura es sin lugar a dudas uno de los sectores de producción de alimentos de origen animal de más rápido desarrollo en el mundo, llegando a ser el motor de crecimiento de la producción pesquera mundial. Aproximadamente 600 especies acuáticas son cultivadas en cautiverio en unos 190 países para su producción en sistemas piscícolas, haciendo una contribución positiva a las economías, como también a la reducción de la pobreza y a la seguridad alimentaria nacional, regional y global (FAO, 2020).

La acuaponía es una técnica de cultivo que asocia el cultivo intensivo de peces con recirculación y la hidroponía, el primero que aporta el agua rica en nutrientes procedente del cultivo de peces y anticipadamente tratada para el cultivo de vegetales del sistema hidropónico, que por ende se nutren del nitrógeno en forma de nitritos y nitratos, que nuevamente regresa al tanque de cultivo de peces, con calidades adecuadas para su desarrollo (Culcos & Tucto, 2018).

Asimismo, García et al., (2005) indican que la acuaponía es un sistema de producción de alimentos que incluye la incorporación de dos o más componentes (peces y plantas), en un diseño basado en la recirculación del agua; similarmente, señalan que el principio básico

radica en el aprovechamiento de la energía del sistema por los componentes comerciales que desean producirse.

En estos tiempos las técnicas de producción de cultivo de plantas sin suelo es el método más extensivo de producción hortícola generalmente es de alta tecnología y fuerte empleo de capital, obteniendo hortalizas de excelente calidad y alto valor nutricional y asegura un uso altamente eficiente del agua y fertilizante.

Las excretas de los animales acuáticos son ricas en nutrientes para las plantas, sin embargo, tóxicas para los peces mismos, las plantas intervienen como un filtro al absorber estas sustancias previamente tratadas por bacterias nitrificantes. El papel fundamental de las bacterias es convertir o transformar las excretas de los peces en compuestos más aprovechables para las plantas y menos tóxicos para los peces.

Esta investigación tuvo por objetivo determinar la eficiencia del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*), frente a un cultivo convencional empleando un sistema de raíz flotante. Asimismo, se buscó promocionar el cultivo de lechuga acuapónica obteniendo una producción orgánica el cual utiliza espacios reducidos y se puede llevar a cabo de forma intensiva tanto en áreas rurales como urbana.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Todas las actividades productivas generan desechos que, de ser vertidos directamente contaminarían al medio natural, trayendo problemas a los ecosistemas, el paisaje y la salud; de ahí que existe la preocupación de tratarlos adecuadamente para minimizar estos impactos negativos. Esta situación no es ajena a la acuicultura, actividad cuyo desarrollo bordea el 10 % anual, demanda un mayor consumo de agua y genera residuos; es por ello que se están desarrollando tecnologías orientadas a incrementar la producción reutilizando el agua previo tratamiento y un gasto mínimo de la misma como la recirculación, o también asociándola con otra actividad productiva como la acuaponía (Llaguento, 2018).

Según la Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura dice: el Perú es un país con mucha riqueza natural, pero se ve perjudicado por la forma inadecuada de usar los recursos naturales, por las malas prácticas de actividades

antropogénicas llegando a deteriorar diversas zonas de nuestro ambiente. Con respecto al recurso agua se ha visto perjudicado por la gran cantidad de agua que consume la agricultura tradicional (FAO 2019).

Los sistemas acuícolas generan constantemente grandes cantidades de desechos como el alimento no consumido y excretas, que son descargadas directamente en los cuerpos de aguas. Sin embargo, estos desechos enriquecen de materia orgánica y de nutrientes a las plantas (carbono, nitrógeno, fósforo).

El control del aporte nutricional a las plantas es una de las principales desventajas de los cultivos en suelo donde el uso de fertilizantes representa aproximadamente el 50% de los costos de producción agrícola, además de la contaminación del manto freático, eutrofización de los ecosistemas acuáticos y la generación de gases de invernadero. Por otra parte, los cultivos acuícolas tienden a eliminar constantemente los efluentes de las especies sin saber cuán importante es la calidad del agua (excretas) por su contenido de nutrientes.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Frente a la problemática evaluada y descrita en el párrafo anterior, se plantearon las siguientes interrogantes.

### **1.2.1. Interrogante general**

¿Será eficiente un sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*) frente a un cultivo convencional en Ollaraya, región Puno?

### **1.2.2. Interrogantes secundarias**

¿Es factible implementar un sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), usando agua del lago Titicaca?

¿Cuáles serán los parámetros físico-químicos del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)?

¿Como será la producción de la lechuga (*Lactuca sativa*), de un sistema acuapónico y de un cultivo convencional en función a sus características físicas y composición proximal?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En los últimos años la acuaponía tuvo una gran acogida, Ante esta situación, es una alternativa viable considerando que es un sistema de producción integrando un cultivo de peces y plantas, estos se unen en un único sistema de recirculación, donde los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal.

A medida que aumenta nuestra población, la tierra cada día se encarece más y además los espacios para la siembra están limitados, desgastados y contaminados (Alpizar, 2004).

Entre las ventajas que ofrecen estos sistemas tenemos la reutilización del agua, puesto que el consumo de agua comparado con otros tipos de agricultura es mínimo gracias al sistema de recirculación; solo hay que restaurar el que se pierde por evaporación. Asimismo, la fertilización es orgánica ya que se realiza con la emulsión natural de los peces, no siendo necesario soluciones nutritivas como en hidroponía o fertilizantes de elevados costos como en la agricultura convencional.

Produce un impacto ambiental bajo, ya que no se utilizan fertilizantes que alteran el ecosistema, sino que los desechos orgánicos de los peces son aprovechados directamente por las plantas, disminuyendo la contaminación de compuestos nitrogenados del efluente de trucha evitando así la eutrofización y se puede realizar varias cosechas al año (Morales, 2019).

Por consiguiente, es necesario realizar una propuesta de un cultivo acuapónico en el distrito de Ollaraya, de esta forma demostrar que dichas producciones no sólo son beneficiosas por el alimento que logra en un estado completamente natural, sino que además beneficia al medio ambiente, evitando contaminar y permitiendo la regeneración del suelo así mismo aprovechando las oportunidades que ofrece la demanda creciente de este producto (Colorado & Ospina, 2019).

## **1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*), frente a un cultivo convencional en Ollaraya, región Puno.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Implementar un sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), usando agua del lago Titicaca.

Evaluar los parámetros físico-químicos del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*).

Comparar la producción de la lechuga (*Lactuca sativa*), de un sistema acuapónico frente al cultivo convencional, en función a sus características físicas y composición proximal.

## **1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.5.1. Hipótesis general**

El sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*) es eficiente frente al cultivo convencional en Ollaraya, región Puno.

### **1.5.2. Hipótesis específica**

Existe diferencia entre la producción de la lechuga (*Lactuca sativa*) de un sistema acuapónico frente al cultivo convencional en función a sus características físicas y composición proximal en ollaraya, región Puno.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Mesa (2021), en su investigación “**Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS**” tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de los sistemas acuapónicos en la remoción de algunos compuestos nitrogenados (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>) y comparar algunos parámetros fisicoquímicos (pH, O<sub>2</sub>, T°) a través de un control. Para el logro de los objetivos se instalaron cuatro unidades experimentales, dos con el sistema de acuaponía y dos como controles, sin acuaponía, cada unidad experimental contaba con 65 peces de la especie tilapia roja (*Oreochromis sp*) con un peso promedio de 30 a 70 gramos cada uno, en etapa de juveniles. Para el material vegetal, se utilizaron 3 tipos de semillas comerciales diferentes: lechuga crespa (*Lactuca sativa var. Crispa*), rúgula (*Eruca vesicaria ssp*) y lechuga batavia (*Lactuca sativa var. Longifolia*); 30 lechugas aproximadamente distribuidas en 3 camas flotantes, los parámetros se registraron cada día durante todo el tiempo del

experimento, en relación a los peces cada semana, con el fin de determinar algunas variables zootécnicas. Con este sistema se determinó que hay remoción de compuestos nitrogenados y las variables zootécnicas de las tilapias en el tanque experimental; fueron mayores al compararse con las del grupo control.

Chamorro et al., (2012), en su investigación **“Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema de recirculación acuícola”** tuvo como objetivo diseñar, construir y evaluar de manera preliminar el desempeño del sistema acuapónico con lechuga (*Lactuca sativa*) con el fin de ayudar a remover los contaminantes del agua y así mejorar la calidad del líquido en el sistema de recirculación para cultivo de trucha arco iris. El sistema comprendió de una caja de nivel constante; tres canaletas para el cultivo acuapónico con 10, 15 y 20 plántulas por m<sup>2</sup>; un tanque de cultivo para trucha arco iris, prefiltros, un biofiltro y un tanque de succión. Los valores de oxígeno disuelto y pH permanecieron dentro de los límites recomendados para los cultivos; el sistema mostró su capacidad para remover sólidos suspendidos, turbiedad y color

aparente. Se obtuvo un crecimiento 1,15 g/d en trucha y una conversión alimenticia de 1,43 para dicho sistema; la lechuga registró dificultades de crecimiento por falta de iluminación. En registro con el oxígeno disuelto del tanque de cultivo tuvo valor mínimo de 5,3 mg/L y un máximo de 5,9 mg/L, así como un promedio de  $5,947 \pm 0,36$  mg/L. La temperatura registrada en la unidad de cultivo registró valores que oscilaron entre los 15 y 18,1°C, con un valor promedio de  $16,6 \pm 0,78$  °C. El pH en el tanque varió entre los valores de 4,3 y 6,9, con un valor promedio de promedio  $6,13 \pm 0,47$ .

Dekovic (2015), en su investigación **“Estudio técnico financiero de la puesta en marcha de un cultivo integrado de trucha arcoíris y lechugas Hidropónicas en la Región de Tarapacá, Chile”**, cuya propuesta es un cultivo de peces en zonas con escasez de agua es el uso de sistemas cerrados de recirculación de agua SRA, con el objetivo de lograr el reúso y ahorro del líquido vital, la zona de estudio se ubica en la primera región de Tarapacá. El número total de truchas que se trasladaron desde la piscicultura Rio Blanco a los terrenos de la granja agro acuícola Tarapacá o desierto acuapónico, es de 13 000 individuos en el primer año de producción. Al año dos se tuvieron dos cosechas de truchas al año por lo que se

necesitaron 26 000 individuos para la siembra en el segundo año. Las truchas tendrán un peso de siembra de aproximadamente de 20 a 30 gramos, cosechadas al cabo de 6 meses con una talla comercial aproximada de 400 gramos, además las condiciones medio ambientales para el cultivo hidropónico fueron de 24° C durante el día; 19° C durante la noche. Como resultado se demostró que la producción anual de truchas fue de 7 930 Kg/año, mientras que la producción de piezas de lechugas fue de 135 338 piezas/año; según el estudio económico y financiero, éste demuestra que la inversión del proyecto es rentable, ya que el TIR es de un 34,45% y un VAN de 3 516,15 UF (unidad de fomento).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Según Meza (2018), en su investigación presentada **“Comportamiento de tres técnicas de cultivo hidropónico con lechuga (*Lactuca sativa*) en un sistema acuapónico - Echarati - la convención- Cusco”**. Su objetivo fue determinar el comportamiento de tres técnicas hidropónicas NFT, Raíz Flotante, Grava con el cultivo de lechuga utilizando el efluente de tilapia como una solución orgánica nutritiva en el rendimiento de peso de materia fresca con raíz y en el comportamiento agro botánico (altura de planta, longitud de raíz,

diámetro de masa foliar) a la cosecha en un sistema acuapónico. La metodología empleada fue con un diseño BCA con ANVA con un total de 4 tratamientos y 3 repeticiones en 3 técnicas de cultivo más testigo (suelo sin nutrientes) con lechuga los cuales fueron distribuidos según el diseño estadístico con un total de 12 unidades experimentales. Los resultados obtenidos fueron procesados utilizando el análisis de varianza y la prueba de tukey. En torno a los resultados obtenidos la técnica de cultivo de raíz flotante mostro mayor predominio en peso de materia fresca con raíz, diámetro de masa foliar y longitud de raíz en comparación a las demás técnicas de cultivo hidropónico NFT, Grava, Testigo que, mostraron un menor desarrollo vegetativo. Respecto a la Altura de planta la técnica de cultivo Grava predomino frente a las demás técnicas de cultivo NFT, Raíz flotante, testigo con promedio de alturas mínimas en el sistema acuapónico.

Según Zavala (2018), en su investigación “**Sistema acuapónico de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y la hidroponía en la producción de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare*), en el centro poblado de Abancay, región Apurímac**”, tuvo por objetivo evaluar el sistema acuapónico de trucha e hidropónico en la producción de forraje verde de cebada. Se utilizaron 150 truchas

arcoíris con un promedio de peso 60 gramos cada uno, utilizó 24 kg de cebada distribuidos en un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos, doce repeticiones. Los tratamientos fueron el sistema acuapónico y también en sistema hidropónico. Los resultados fueron superiores en el sistema acuapónico en comparación al sistema hidropónico con un rendimiento de 21,50 kg/m<sup>2</sup>, en altura de planta 19,60 cm, diámetro de tallo 1,38 mm, en ancho de hoja 5,17 mm y el largo de la raíz fue 11,35 cm, mientras que en el sistema hidropónico los resultados fueron los siguientes, rendimiento 20,89 kg/m<sup>2</sup>, en altura de planta 18,30 cm, diámetro de tallo 1,16 mm, en ancho de hoja 5,08 mm en largo de la raíz 1175 cm. La relación costo-beneficio del sistema acuapónico e hidropónico, el resultado es mayor con el sistema acuapónico es de S/ 1,57 soles, mientras que el sistema hidropónico tiene una relación costo-beneficio de S/1,19 soles.

Carrión y Córdova (2020), en su investigación “**Sistema acuapónico a partir de efluentes de (*Oreochromis niloticus*) Tilapia para cultivo de (*Lactuca Sativa*) lechuga en la región Lambayeque**”, tuvo por objetivo determinar la eficiencia de los efluentes de tilapia para el crecimiento y producción de lechuga; fue

de tipo cuantitativa, aplicada y longitudinal. El diseño de la investigación fue pre experimental porque no hubo grupo control, es decir se midió una sola variable; con respecto a los análisis fisicoquímicos realizados durante cuatro semanas a los efluentes de tilapia, el pH se mantuvo en un valor de 7, su temperatura estuvo en un rango de 25-26 °C, oxígeno disuelto entre 5,83 ppm – 6,92 ppm y conductividad eléctrica entre 119,2  $\mu\text{s}/\text{cm}$  a 121,2  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . La población estuvo conformada por sesenta plantas de lechuga de las cuales se extrajo una muestra de 10 plantas. La técnica de muestreo fue no probabilística por conveniencia. Los resultados indican que los efluentes de tilapia, presentaron características fisicoquímicas favorables para el crecimiento y producción de lechuga, observando que el pH estuvo en un rango de 7 que es un parámetro aceptable para la lechuga (*Lactuca sativa*), en cuanto a la temperatura máxima fue de 26 °C siendo óptima para el crecimiento de la lechuga, la máxima conductividad eléctrica fue de 121,2  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y no sobrepasando los 1 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  valor que es tóxico para la lechuga y por último el máximo valor de oxígeno disuelto fue de 6,92 ppm, después de obtener los resultados llegaron a la conclusión que los efluentes de tilapia (*Oreochromis niloticus*) presentaron

características fisicoquímicas favorables para el crecimiento y producción de lechuga.

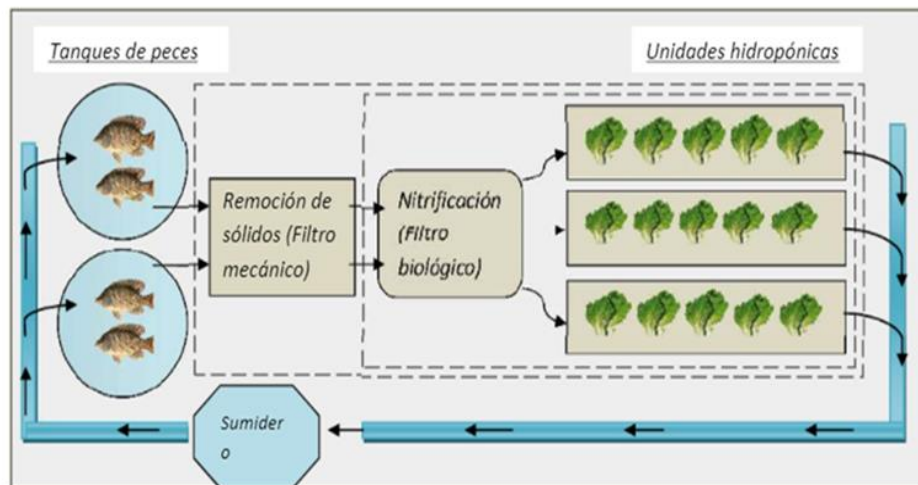
Segura y Balois (2017), en su investigación “**Producción de lechuga (*Lactuca sativa*) utilizando efluentes de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), en laboratorio**”. Tuvo por objetivo evaluar la producción acuapónica de (*Lactuca sativa*) utilizando efluentes del cultivo de (*O. niloticus*). Línea chitralada a diferentes densidades en laboratorio donde la población de peces estuvo constituida por alevines de (*O. niloticus*) se procedió a su acondicionamiento en tres tanques de agua con oxígeno, luego fueron distribuidos a los acuarios según los tratamientos. La unidad experimental estuvo diseñada básicamente por el sistema NFT, constituido por 12 acuarios de 80 litros cada uno, distribuidos según los tratamientos a una densidad de 200, 250 y 300 alevines por acuario y un tratamiento control sin peces. Los resultados muestran que la producción acuapónica de lechuga utilizando efluente del cultivo de (*O. niloticus*) a 200, 250 y 300 peces m<sup>3</sup> no presentó diferencias significativas entre los tratamientos para longitud, talla y diámetro de la hoja en lechuga; sin embargo, el tanque de los 300 alevines que utilizaron para la producción de lechuga fueron más predominante frente a los demás grupos de alevines.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Acuaponía**

La acuaponía es una técnica de cultivo que une los métodos de la hidroponía con la acuicultura para producir cultivos orgánicos con mayor eficiencia, que proporciona diversas ventajas entre ellas que no producen contaminantes, y requieren menores recursos básicos comparados con las técnicas agrícolas tradicionales (Trejo, 2013).

Dado que la acuaponía incluye la producción tanto de animales acuáticos como de cultivos en hidroponía, es posible que en una misma unidad de producción se pueda generar mayor cantidad de alimentos, mayores ingresos y se eleve el uso eficiente de los recursos agua y fertilizantes, además de que se reduce la contaminación que genera la acuicultura (Trejo L. , 2015).



**Figura 1.** Configuración general de un sistema acuapónico.

Fuente: (Rakocy et al., 2006).

### 2.2.2. Sistema acuapónico

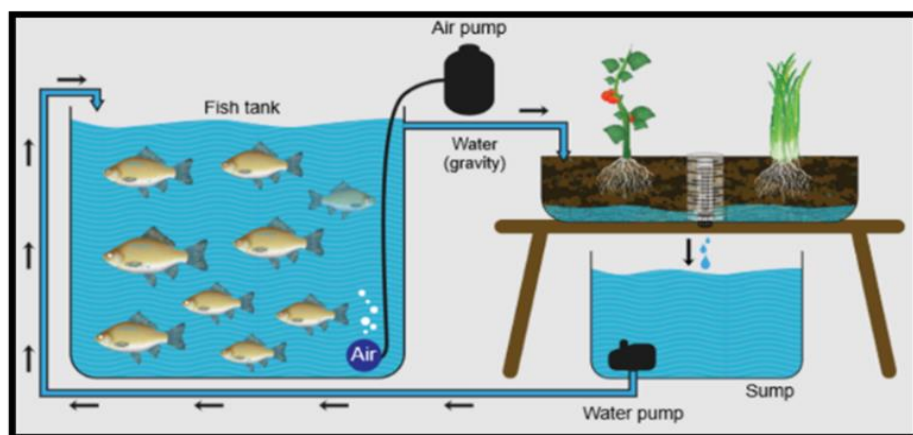
La acuaponía constituye la integración entre cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos dos sistemas se unen en un ciclo de recirculación, en el cual se juntan, el componente acuícola y el componente hidropónico (Bofish, 2019).

En este sistema, los desechos metabólicos generados por los peces y restos de alimento, son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal. De esta forma se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable, los sistemas acuapónicos trabajan en puntos de gran interés en la

producción, rentabilidad y tratamiento de desechos (Calo & Pablo, 2011).

Según Rakocy et al., (2006), refiere que la acuaponía es el nombre que se da a la integración de la acuicultura y la hidroponía indica que la acuaponía es el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación cerrado.

Los desechos de los peces son degradados por bacterias en nutrientes disueltos (por ejemplo, compuestos de nitrógeno y fósforo) que las plantas utilizan para crecer en una unidad hidropónica, esta eliminación de nutrientes no solo mejora la calidad del agua para los peces, sino que también reduce el consumo general de agua al limitar la cantidad liberada como efluente (Patillo, 2017).



**Figura 2.** Sistema acuapónico simple

Fuente: (Somerville et al., 2022).

### **2.2.2.1. Ventajas**

Duran (2019), Indica que la acuaponía es considerada como un sistema de producción sustentable debido a que presenta una serie de propiedades benéficas para el medioambiente:

#### **Uso eficiente del agua**

En los sistemas acuapónicos el agua es el medio de vida de los peces y de las raíces de las plántulas. Es decir, el agua se utiliza por partida doble. Con este cultivo se reduce a un 10% el consumo de agua, que en un cultivo tradicional con suelo.

#### **Fertilización orgánica**

Los desechos de los peces forman un fertilizante rico en nutrientes para las plantas. De esta manera es posible bajar considerablemente el gasto en sales fertilizantes.

#### **No se requiere suelo**

Para zonas con escasos suelos o zonas desérticas, este sistema acuapónico representa una opción interesante. También es un sistema que podría ser de mucho interés para cultivar en las diferentes ciudades, donde la tierra cultivable es prácticamente inexistente.

#### **2.2.2.2. Desventajas**

Según López (2013), describe las siguientes desventajas:

##### **Falta de estudios**

Menciona que debido a esto todavía se están realizando pruebas para optimizar el sistema.

##### **Se requiere conocimiento técnico para un manejo adecuado**

Es un sistema de integración de dos cultivos por lo que se requiere a una persona que tenga conocimientos básicos de fisiología vegetal (hortalizas) y animal (peces).

#### **2.2.3. Componentes de un sistema acuapónico.**

##### **2.2.3.1. Tanques para cultivo de peces**

Cada sistema de acuaponía requiere al menos una pecera. En sistemas más grandes a menudo hay múltiples tanques. El tamaño y el tipo de tanque que se elige se determinará según su aplicación. Un pequeño sistema para la afición o la educación puede utilizar un acuario de vidrio o plexiglás. Pequeños sistemas de demostración pueden incluso estar hechos de tinas o barriles de plástico. Un sistema más grande que se usa para la producción de alimentos en el

hogar o para la acuaponía comercial generalmente utiliza tanques de polietileno o fibra de vidrio fabricados (Nelson & Pade, 2008).

#### **2.2.3.2. Bombas de aireación**

El desarrollo de oxigenación es un proceso de adecuación del sistema, que se desarrolla bajo la técnica Venturi, el cual implementa un equipo versátil de alto rendimiento que permite inyectar una gran cantidad (volumen) de aire oxigenado en forma de burbujas ya que consiste en sistema de difusión de aire a cada una de las producciones, actuando como un circuito en el que el agua circula como una corriente que permite la distribución del oxígeno y a su vez la liberalización de la masa del agua, propiciando el equilibrio de los niveles de temperatura y oxígeno, sin causar erosión o aumento de turbidez en el sistema (Barrera & Arias, 2018).

#### **2.2.3.3. Bomba de agua**

Es el motor del sistema acuapónico, que se encarga de dirigir desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y de estos la reenvía de vuelta al tanque en un sistema cerrado de recirculación. La circulación que genera el agua garantiza que las plantas y las bacterias puedan recibir sus nutrientes (Colagrosso, 2014).

#### **2.2.3.4. Biofiltro**

La biofiltración es la conversión de amoníaco y nitrito en nitrato por bacterias vivas. La mayoría de estos desechos de pescado no se pueden filtrar con un filtro mecánico porque los desechos se disuelven directamente en el agua y el tamaño de estas partículas es demasiado pequeño para ser eliminado mecánicamente, también la biofiltración es esencial en la acuaponía porque el amoníaco y el nitrito son tóxicos incluso en bajas concentraciones, mientras que las plantas necesitan los nitratos para crecer. En una unidad acuapónica, el biofiltro es un componente instalado deliberadamente para albergar a la mayoría de las bacterias vivas (Somerville, 2014).

#### **2.2.3.5. Filtro mecánico**

Un manejo ineludible y fundamental dentro de los sistemas de recirculación, resulta ser la filtración del agua, por intermedio de alguna técnica mecánica. Este manejo permite separar y remover los desechos sólidos en suspensión (ya sean flotantes o no), permitiendo una serie de objetivos y beneficios (Candarle, 2016).

La filtración mecánica, además de retirar de circulación estos sólidos, cumple la función de retenerlos y acumularlos periódicamente en un sector determinado, lugar donde se realiza naturalmente otro

proceso de suma importancia para nuestro sistema: la mineralización, o proceso de liberación de nutrientes al agua (Candarle, 2016).

#### **2.2.3.6. Sumidero**

El sumidero contiene una bomba que devuelve el agua que cae en el cultivo de peces. Se ubica frente al sistema hidropónico para el retorno por gravedad a los tanques de peces (Rakocy et al., 2006).

#### **2.2.3.7. Cama de raíz flotante**

Este se basa en camas hidropónicas, donde las plantas flotan en el agua de cultivo, usando como aislamiento una espuma de poliestireno (tecnopor). En algunas ocasiones es posible colocar los peces y las plantas en el mismo tanque de cultivo; sin embargo, es necesario adicionar algún tipo de malla o red que proteja las raíces de las plantas para evitar que sean maltratadas o incluso comidas por los organismos acuáticos del cultivo (Dekovic, 2015).

### **2.2.4. Componentes biológicos del sistema acuapónico**

#### **2.2.4.1. Los peces**

Para dicho caso la biomasa ha de ser mantenida cerca de la capacidad máxima del sistema, para así aprovechar el espacio disponible y maximizar la producción, garantizando un suministro de

alimento constante; ya que este será un precursor de los nutrientes desinados a los vegetales. De esta forma, se deberá dimensionar correctamente el componente hidropónico (Candarle, 2016).

#### **2.2.4.2. Las bacterias**

Las bacterias son los responsables de nitrificar, que por su particularidad se encuentran libremente en la naturaleza y son encargadas de colonizar los sustratos del biofiltro y de las camas espontáneamente (Colagrosso, 2014).

En un sistema acuapónico se puede encontrar la presencia de esas bacterias nitrificadoras, o mejor dicho su actividad, a través de un análisis del agua. Una vez liberados los peces en el tanque, las excretas que ellos producen aumentan el nivel de amonio, siendo las bacterias *Nitrosomonas sp.* las primeras en colonizar el sistema y encargadas de transformar el amonio en nitrito. De esta forma, la concentración de amonio tiende a bajar y aumenta el nivel de nitritos; a este punto comienzan a aparecer las bacterias (*Nitrobacter sp.*) que trasforman los nitritos en nitratos (Colagrosso, 2014).

#### **2.2.4.3. Las plantas.**

Ramírez (2008), En términos generales se deben preferir plantas verdes, cuya parte comercial no sea el fruto y que sean de ciclo corto en un sistema acuapónico.

#### **2.2.4.4. Hidroponía**

Es la técnica de producción intensiva de plantas, se caracteriza por abastecer el agua y los nutrientes de manera controlada y de proporcionar a las plantas los elementos nutritivos en las concentraciones y proporciones más adecuadas, a través de una solución de elementos esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S., etc.) (Sagacarpa, 2007).

Para su aplicación se utilizan sustratos inertes diferentes al suelo a los que se les adiciona en forma constante una solución nutritiva, preparada a partir de fertilizantes comerciales; con esto se logra un medio que proporciona las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo de los cultivos (Sagacarpa, 2007).

#### **2.2.4.5. Sistema de camas con sustrato solido**

El sustrato tiene varias funciones: sirve de anclaje a las plantas, protege a las raíces de la luz solar, retiene cierta cantidad de humedad y solución nutritiva y permite la oxigenación de las raíces por medio de los espacios que se forman entre las partículas (Guzman & Moreno, 2005). Además, en los sistemas acuapónicos, el sustrato suficientemente poroso el lugar donde se desarrollan las bacterias nitrificadoras. Los contenedores más utilizados en este sistema se llaman camas y se pueden observar en la figura siguiente.



**Figura 3.** Camas hidropónicas con sustrato sólido  
Fuente: (Guzman & Moreno, 2005).

#### 2.2.4.6. Sistema de raíz flotante

Esta técnica no requiere de sustrato sólido, las raíces de las plantas permanecen en contacto con el agua que debe ser oxigenada diariamente. La oxigenación puede ser aplicada manualmente o a través de bombas de aire. En la figura 4 se presenta una cama hidropónica de raíz flotante. Como se puede notar una lámina de (Tecnopor), cubre la totalidad de la superficie de la cama. A dicha lámina se le han practicado unos orificios para colocar las plantas que a la vez son sostenidas con canastillas hidropónicas (Colagrosso, 2014).

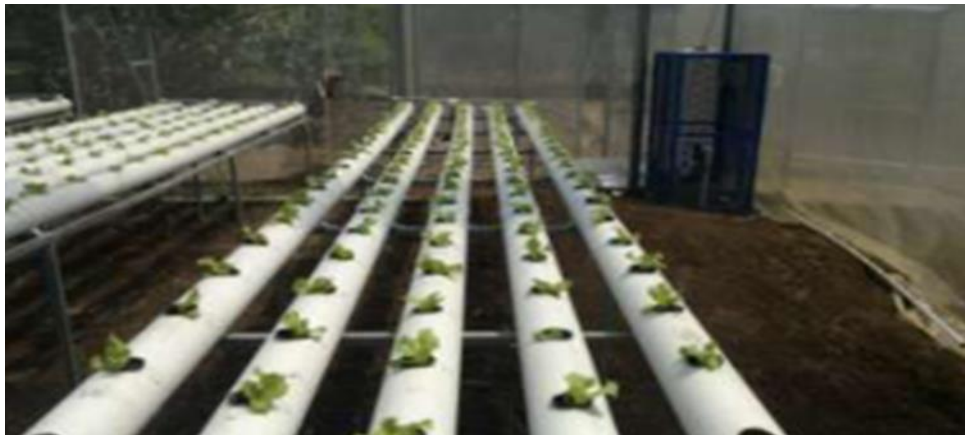


**Figura 4.** Sistema hidropónico de raíz flotante

Fuente: (Colagrosso, 2014).

#### **2.2.4.7. Sistema de solución nutritiva recirculante (NFT)**

Sistema de cultivo hidropónico es el más utilizado (Alpizar, 2004). En la producción a gran escala de alta eficacia, pero al mismo tiempo es el más complejo y costoso. Para el correcto funcionamiento de este sistema se necesita de un tanque para almacenar la solución nutritiva, un sistema automatizado de bombeo y de un sistema de tubos interconectados a los cuales se le han realizados orificios para asentar las canastitas que contendrán las plantas.



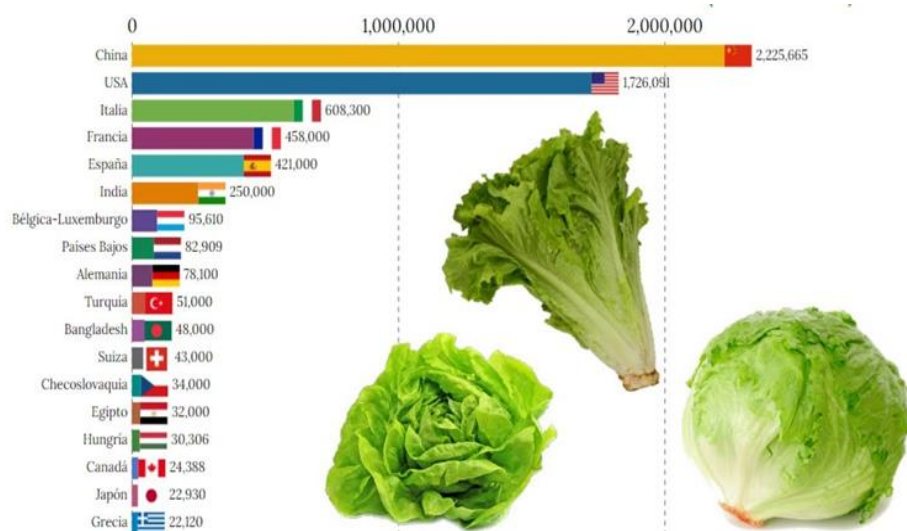
**Figura 5.** Sistema de cultivo de solución nutritiva recirculante.

*Fuente: (Alpizar, 2004).*

#### **2.2.5. Importancia del cultivo de lechuga**

El cultivo más importante entre las hortalizas de hojas que se consume cruda se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de producción, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y en

hidroponía. Es muy apreciada por ser un alimento fresco, de alto contenido de agua, vitaminas y bajo valor energético, siendo importante para las dietas hipocalóricas. Se utiliza casi exclusivamente como producto fresco, principalmente como ensalada. También hoy existe la posibilidad de comercializar las hojas de lechuga pre picadas en bolsas listas para el consumo. La importancia del cultivo de lechuga ha ido incrementándose en los últimos años debido tanto a la diversificación de tipos varietales, como al aumento de la cuarta gama (Giaconi, 1985).



**Figura 6.** Principales países productores de lechuga  
Fuente: (FAO, 2019).

De acuerdo a Saavedra et al., (2017), la lechuga seguida del choclo y el tomate es la hortaliza de mayor superficie nacional, representando en promedio de los últimos 7 años el 9% de la superficie total; lo que equivale aproximadamente a unas 6 900 hectáreas anuales.

#### **2.2.5.1. Variedades**

Giaconi (1985), menciona que las variedades de lechuga se pueden agrupar en cuatro tipos bastante definidos de hojas o de amarra repolladas o de cabeza, cos o romana y de cortar. Además, se pueden clasificar en variedades de verano y de invierno, aunque no son tan definidas como las anteriores debido a cierto grado de adaptación a una estación u otra mostrado por algunas variedades.

#### **2.2.5.2. *Var. crispa (Lactuca sativa)***

La denominación de amarra se presta a confusión la amarra es eventual y se practica en cantidad la cosecha en la actualidad.



**Figura 7.** Lechuga de hoja o de amarra

Fuente: (Ávila, 2015).

### **2.2.5.3. Var. longifolia (Lactuca sativa)**

Su tallo es cilíndrico y ramificado, muy corto e imperceptible, las hojas están en roseta, erectas y con una cabeza bien definida, *semicrespas*, color verde medio, con tamaño de cabeza entre 20 y 25 cm.



**Figura 8.** Lechuga romana

Fuente: (Ávila, 2015).

#### **2.2.5.4. Var. capitata Janchen (*Lactuca sativa*)**

Variedades que forman un cogollo apretado, la forma de sus hojas suele ser ancha y corresponden a las lechugas conocidas como de amarra, mantecosas o españolas. Presentan hojas lisas, relativamente delgadas, orbiculares, anchas, sinuosas y de textura suave o mantecosa; las hojas más internas forman un cogollo amarillento al envolver las más nuevas.



**Figura 9.** Lechuga española

Fuente: (Corpoica, 2013).

#### **2.2.5.5. L. var. Acephala Dill, (*Lactuca sativa*)**

Son las lechugas de corte o de hojas sueltas ya que, como su nombre lo indica, este tipo no forma cogollo, sino que sus hojas son sueltas, no envolventes. Aunque se comercializan enteras, su principal virtud se aprecia en las huertas caseras, ya que sus hojas se pueden ir cosechando individualmente. Son muy populares para cultivo hidropónico, aunque también se cultivan en suelo.



**Figura 10.** Lechugas de hojas sueltas

**Fuente:** (Corpoica, 2013)

#### **2.2.5.6. Var augustuana A. (*Lactuca sativa*).**

Son las lechugas espárrago o de tallo cultivadas solamente en China. En este tipo se utiliza principalmente el tallo carnoso y también las hojas, que pueden presentar color verde o rojizo. Presenta un hábito más alto que las otras variedades, sus hojas son angostas (4 a 6 cm), lanceoladas y largas.



**Figura 11.** Lechuga espárrago

**Fuente:** (Ávila, 2015).

## **2.2.6. Requerimientos edafoclimáticos**

### **2.2.6.1. Humedad Relativa**

El sistema radicular de la lechuga es muy reducido, en comparación con la parte aérea, por lo cual es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, por breve que sea. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%; la alta humedad causa problemas porque favorece el ataque de enfermedades como el moho blanco causado por el hongo (*Sclerotinia sclerotiorum*), el moho gris causado por (*Botrytis cinerea* y el *Mildeo velloso*) (Osorio & Lobo, 1983).

### **2.2.6.2. Suelo**

La adaptación de esta hortaliza a diferentes tipos de suelo es muy amplia. Produce bien en suelos arenosos con suficiente contenido de materia orgánica, con buena retención de humedad debido a que el sistema radicular de la lechuga no es muy extenso y el 96% de la parte comestible es agua; suelos profundos. Es una especie medianamente tolerante a la salinidad (entre 4 y 10 mm) y a la acidez en los suelos. El pH óptimo está entre 6,5 y 7,5 valores de pH menores de 5,5 originan un pobre desarrollo y valores por encima de 7,3 son el límite para un buen crecimiento, (Álzate & Loaisa, 2008).

### **2.2.7. Balance del sistema acuapónico**

Rakocy et al., (1997), menciona que debido que un sistema acuapónico involucra cantidades de proteínas metabolizadas, como una capacidad de biofiltración y además de un poder determinado de absorción de los nitratos, a la hora de montarlo, se deberá considerar la importancia de mantener un balance de cargas en las tres principales comunidades peces, plantas y bacterias presentes en el sistema acuapónico.

#### **2.2.7.1. Calidad del agua**

Somerville (2014), menciona que, para poder comprender mejor la importancia de la calidad del agua en el sistema acuapónico, se lo puede asemejar a la función de la sangre en el sistema circulatorio de un organismo animal, que provee y distribuye los nutrientes, el oxígeno y cumple, además, con las funciones necesarias para el desarrollo saludable del mismo.

La calidad de agua debe tener la mayor atención para que el sistema funcione bien, debido a que este es el medio en el cual conviven peces y bacterias y del cual las plantas obtienen sus nutrientes. Es por esto que el agua debe tener la calidad suficiente

como para mantener adecuadamente a las tres comunidades existentes en el sistema acuapónicos. Algunos parámetros físicos químicos del agua deben ser medidos en forma diaria (temperatura, oxígeno disuelto y pH), mientras que otros pueden ser medidos de manera periódica NAT, nitritos y nitratos (Calo & Pablo, 2011).

**Tabla 1.**

*Rangos generales de tolerancia de calidad de agua para peces en aguas cálidas y aguas frías, plantas y bacterias nitrificantes.*

TIPO DE ORGANISMO	TEMP (°C)	pH	NAT (mg/l)	N02 (mg/l)	NO3 (mg/l)	OD (mg/l)
Peces de aguas cálidas	22-32	6-8,5	<3	<1	<400	4-6
Peces de aguas frías	10-18	6-8,5	<1	<0,1	<400	6-8
Plantas	16-30	5,5-7,5	<30	<1	-	<3
Bacterias nitrificantes	14-34	6-8,5	<3	<1	-	4-8

*Fuente: (Somerville, 2014).*

### 2.2.7.2. Temperatura

La temperatura del agua afecta en todos los aspectos de un sistema acuapónico. El rango óptimo de la temperatura es de 18 a 30 °C, tiende a tener efectos sobre el oxígeno disuelto y también en la toxicidad (ionización) del amonio; las temperaturas altas causan

menos oxígeno disuelto y más amonio desionizado (tóxico). Estas temperaturas pueden restringir la absorción de calcio en las plantas, ya que los peces de agua cálida como el chame y las bacterias nitrificantes viven a temperaturas de agua altas de 22 a 29 °C. Al contrario de algunos vegetales como la lechuga crecen mejor en temperaturas más bajas de 18 a 26 °C (Somerville et al., 2022).

En consecuencia, la temperatura cambia tanto estacionalmente con la profundidad, para la truchicultura recomendable es de 13 a 18° C y el promedio recomendado es del 15°C como óptimo, en tanto que el aumento de las temperaturas en agua dulce afectado por el cambio climático induce al aumento de la concentración de contaminantes que al final reduce drásticamente la diversidad biológica (FAO, 2014).

### **2.2.7.3. Oxígeno**

El oxígeno es esencial para todos los organismos en la acuaponía; por lo tanto, las plantas, peces y bacterias nitrificantes necesitan oxígeno para vivir. El nivel de oxígeno disuelto (OD) se describe como la cantidad de oxígeno molecular dentro del agua, y se mide en mg/l. En efecto, los peces pueden llegar a morir en horas cuando son expuestos a bajos niveles de Oxígeno. Por ello, asegurar

los niveles adecuados es crucial para la acuaponía. El rango óptimo para cada organismo es de 5 a 8 mg/l. Algunas especies incluyendo el chame pueden tolerar niveles de oxígeno disuelto tan bajos como 2 a 3 mg/l, pero es más seguro tener niveles más altos en la acuaponía, por eso, se recomienda que se incremente la aireación usando una bomba de aire (Somerville et al., 2022).

**Tabla 2.**

*Comportamiento de trucha en función al nivel de O<sub>2</sub> del agua de crianza*

O <sub>2</sub> mg/l	0 – 3,0	3,1 – 4,5	4,6 – 5,9	6 – 8,5
Condición	Muere	Sufre grave estrés	Poco estrés Crecimiento lento	Desarrollo óptimo

*Fuente: (FONDEPES, 2004).*

#### **2.2.7.4. pH**

Resh (1995), señala que el pH es un parámetro que influye sobre la calidad del agua, además interviene otros procesos, junto a la temperatura, el % de toxicidad (% amonio no ionizado (NH<sub>3</sub>) del nitrógeno amoniacal total. Considerando que el proceso de nitrificación produce una ligera acidificación, al liberar los iones hidrógeno, y que se realiza de manera permanente dentro del sistema, se debe estar atentos y en alerta, ante los cambios de pH,

con el fin de realizar un manejo correctivo. Además, también puede verse incrementada la acidez del sistema como producto de una alta densidad de peces, ya que estos producirán dióxido de carbono a través de su respiración; producto que, en contacto con el agua, forma ácido carbónico.

#### **2.2.7.5. Nitritos (NO<sub>2</sub>) y nitratos (NO<sub>3</sub>)**

Los nitratos y nitritos son compuestos solubles que contienen nitrógeno y oxígeno como iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno esencial para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, la concentración de nitritos en ocasiones puede ser mayor que la concentración de ácido nitroso en los ecosistemas de agua dulce o salada, los iones de nitrito son considerados como los mayores responsables de esta toxicidad en organismos acuáticos y animales. La nitrificación es más rápida a un pH de 7 a 8 y a temperaturas de 25 a 30 °C. La nitrificación hace que el pH del agua baje. El estándar por nitrato-N es 10,0 mg/L en el agua potable, o 1 centésima parte de un gramo en un litro de agua. En suma, el efecto toxicológico de la presencia de nitrito puede ocasionar hipoxia y muerte de organismos (Solórzano, 2000).

### **2.2.8. Acuicultura en el Perú**

La acuicultura en el Perú ha mostrado un crecimiento sostenido durante los últimos años. Según cifras del Ministerio de la producción (PRODUCE, 2021), el crecimiento anual promedio del sector en los últimos 10 años (2009-2019) ha sido del 13,8%. Además, en 2019, el producto bruto interno (PBI) acuícola respecto al PBI de pesca y acuicultura total representó un 24,9%. Así, esta actividad económica es un importante motor de desarrollo local.

El dinamismo del sector registrado en 2021 se explicaría, principalmente, por el crecimiento de las exportaciones de las conchas de abanico, que pasaron de US\$ 51 millones entre enero y octubre de 2020 a US\$ 97 millones en el mismo periodo de 2021 (+91,5%); además, las truchas y los langostinos también incrementaron sus envíos un 28,1% y un 7,1%, respectivamente.



**Figura 12.** Exportaciones de productos acuícolas

Fuente: Comex Perú (2021).

## 2.2.9. Descripción de la especie

### 2.2.9.1. Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

La trucha arcoíris es una especie típica de aguas continentales, que se caracteriza por tener el cuerpo cubierto por finas escamas y de forma fusiforme, ligeramente aplanada lateralmente, posee una banda lateral rosada iridiscente, que se hace más vistosa en la época de reproducción, tiene un hábito carnívoro y es ovípara con reproducción externa (FONDEPES, 2004).



**Figura 13.** *Trucha arcoíris*

**Fuente:** ( Arregui, 2013).

#### **2.2.9.2. Manejo del agua**

Un aspecto importante para un cultivo de truchas es el agua, pues esta tiene que tener ciertas condiciones de calidad y cantidad. En relación con la calidad, es muy importante buscar una fuente de agua limpia, sin contaminación y con poco sedimento. La tabla 3 resume las principales características de la calidad del agua para el cultivo de trucha (FAO, 2014).

**Tabla 3.**

*Parámetros de cultivo para trucha.*

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Óptimo</b>
<b>Oxígeno (ppm)</b>	7,5-12	8,5
<b>Temperatura (°C)</b>	13-18	15
<b>pH</b>	6,5-8,5	7

*Fuente: (FAO, 2014)*

Entre estos parámetros, la temperatura del agua es muy importante porque regula el crecimiento de los peces, ya que estos no tienen capacidad propia para regular su temperatura corporal. Si la temperatura es muy baja el crecimiento es lento, a temperaturas más altas el desarrollo es más rápido. Por otro lado, el parámetro afectado por la temperatura es el oxígeno disuelto en el agua, pues a temperaturas altas, el oxígeno disuelto es menor que a temperaturas bajas (FAO, 2014).

### **2.2.9.3. Alimentación**

Actualmente existen alimentos concentrados debidamente balanceados para llenar las necesidades nutricionales de la trucha, y de esta forma, lograr un buen desarrollo y crecimiento. Existen cinco componentes básicos que son necesarios para su alimentación y que tienen que estar presentes en el alimento, proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales (FAO, 2014).

Porcentaje de alimentación diario con base en la temperatura del agua y la totalidad de carne de trucha que hay en el estanque modificado de Leitritz, (1980).

Temperatura °C	Número de truchas por cada 2,2 libras (1000 gramos)										
	5592	5592	669	194	83.2	43.3	25.8	16.2	10.8	7.6	5.5
		669	194	83.2	43.3	25.8	16.2	10.8	7.6	5.5	
	Longitud en centímetros										
	2.5	2.5	5	7.6	10	12.7	15.2	17.8	20.3	22.8	25.4
		5	7.6	10	12.7	15.2	17.8	20.3	22.8	25.4	
Dosis de alimentación (%)											
8	4.3	3.6	3	2.3	1.7	1.4	1.2	1	0.9	0.8	0.7
9	4.5	3.8	3	2.4	1.8	1.5	1.3	1.1	1	0.9	0.8
10	5.2	4.3	3.4	2.7	2	1.7	1.4	1.2	1.1	1	0.9
11	5.4	4.5	3.6	2.8	2.1	1.7	1.5	1.3	1.1	1	0.9
12	5.8	4.9	3.9	3	2.3	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1	1
13	6.1	5.1	4.2	3.2	2.4	2	1.6	1.4	1.3	1.1	1
14	6.7	5.5	4.5	3.5	2.6	2.1	1.8	1.5	1.4	1.2	1.1
15	7.3	6	5	3.7	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2
16	7.8	6.5	5.3	4.1	3.1	2.5	2	1.8	1.6	1.4	1.3
17	8.4	7	5.7	4.5	3.4	2.7	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4
18	8.7	7.2	5.9	4.7	3.5	2.8	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5
19	9.3	7.8	6.3	5.1	3.8	3	2.3	2	1.8	1.7	1.6

17 truchas por 2,2 libras, está aquí.

Temperatura del agua del estanque

**Figura 14.** Tabla de alimentación de truchas.

Fuente: (FAO, 2014).

#### 2.2.9.4. Nutrición

El sistema digestivo de las truchas arco iris y de los salmónidos está naturalmente estructurado para procesar alimentos que contienen principalmente proteína (proveniente de pescado), para que de esta manera puedan obtener una cantidad determinada de energía a partir de las grasas y carbohidratos existentes. Las dietas para larvas y alevinos de truchas, requieren un contenido proteico y

energía más alta, que las correspondientes a peces más grandes. En la etapa de alevinos y juveniles se alimentan con contenidos de proteína cercanos al 50% y el 15% de grasa; mientras que los peces adultos pueden crecer con un 40% de proteína y un 10 a 12% de grasa (OPSD, 2011).

#### **2.2.9.5. Lago Titicaca**

El Lago Titicaca es el segundo lago más grande en Sudamérica se encuentra al sur del Perú y el noroeste de Bolivia, entre los 14 ° 05' y 16° 50' de longitud norte y 68° 10' y 71° 05' longitud oeste. Aproximadamente 8,400 km<sup>2</sup>, localizado a una altitud de 3,810 m sobre el nivel del mar, y considerado como el lago navegable más alto del mundo. La calidad del agua del lago y su cuenca es favorable para desarrollar actividades de acuicultura, particularmente del cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes, de amplia difusión y aceptación (Chura & Mollocondo , 2009).

#### **2.2.9.6. Estructura de Cultivo**

##### **Jaulas flotantes**

Generalmente de forma cuadrada o rectangular que flotan en un medio acuático, con flujo constante de agua, en el cual se cultiva

peces en forma controlada, tiene como función fundamental retener los peces, permitiendo el intercambio de agua entre la jaula y el ambiente que lo rodeas según menciona Mantilla (2004), estas compuestas por partes rígidas, sobre la cual se apoya un sistema de flotación que a su vez sostiene una bolsa, confeccionado de redes, se encuentra anclado al fondo con lastres (FONDEPES, 2004).

### **Estanques**

Estos estanques pueden ser construidos y es recomendable que cuenten con alguna protección contra rayos solares, usando un techo de plástico u otro. Los estanques pueden ser construidos de bloc, cemento o de tierra excavados en el suelo. La forma de estos estanques son variables, siendo el rectangular y el circular los diseños más usados (FAO, 2014).

#### **2.2.9.7. Alimento Balanceado**

En el cultivo de trucha se utilizan alimentos con diferentes niveles de proteína, según la formula o el tipo, el tiempo que se debe utilizar cada tipo de alimento, tiene relación directa con el tamaño del pez en sus diferentes estadios (FONDEPES, 2004).

**Tabla 4.**

*Información nutricional proximal de alimento Nicovita*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Proteína cruda</b>	42,0 min.	%
<b>Grasa total</b>	11,0 min.	%
<b>Humedad</b>	10,0 máx.	%
<b>Cenizas</b>	10,0 máx.	%
<b>Fibra cruda</b>	3,5 máx.	%

*Fuente: Página web Empresa Nicovita Perú*

**Tabla 5.**

*Consumo del alimento.*

<b>PRODUCTO</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>PRESENTA CION FISICA</b>	<b>PESO TRUCHAS (g)</b>	<b>ETAPA DE CRIANZA</b>
<b>Pre inicio 1-55</b>	0,3 a 0,8	Polvo	0,1 a 1,0	Post
<b>Pre inicio 2-50</b>	0,8 a 1,3	Granulado	1,0 a 2,5	Alevinos I
<b>Inicio 45</b>	1,5 x 2,5	pellet	2,5 a 10,0	Alevinos II
<b>Crecimiento 1-42</b>	2,5 x 2,5	pellet	10,0 a 30	Juvenil I
<b>Crecimiento 2-42</b>	4,0 x 4,0	pellet	30,0 a 90	Juvenil II
<b>Engorde 40</b>	6,0 x 6,0	pellet	250 venta	Pre comercial
<b>Acabado con pig. 40</b>	8,0 x 8,0	pellet	120 venta	comercial

*Fuente: Página web empresa Nicovita Perú*

#### **2.2.9.8. Forma de Suministro del Alimento**

Se recomienda distribuir el alimento al boleó (esparciéndolo al aire), distribuir el alimento de acuerdo a la ración diaria que corresponde a cada una. Según el organismo público descentralizado sierra exportadora (2011); los peces constituyen un factor de gran importancia en el rendimiento de una explotación ya que afecta al crecimiento de los peces, al desperdicio de alimento y sobre todo al coste de mano de obra empleada en la alimentación (Sanz, 2009).

#### **2.2.9.9. Cálculo de Ración Alimentaria**

Para calcular la cantidad de alimento a suministrar, utilizando las tablas comerciales. Para el uso de las tablas se necesita conocer la temperatura del agua, la cantidad de peces por jaula, peso y talla promedio unitario por pez, biomasa total y el porcentaje de peso corporal, para el cálculo de ración alimentaria diaria se usa la siguiente fórmula (Westrs, 1995).

$$\text{Alimento diario} = \frac{\text{Porcentaje de peso corporal} \times \text{biomasa}}{100}$$

**Dónde:**

Porcentaje de peso corporal: porcentaje de peso corporal por día.

Biomasa: peso total de peses estabulados en la jaula.

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS**

### **2.3.1. Biomasa**

Peso de todos los individuos organismos vivos, materia viva que pueble un área o un hábitat en particular en un tiempo instantáneo dado (Mantilla, 2004).

### **2.3.2. Muestra**

Hernández et al., (2014), refiere que es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectan datos y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además que debe de ser representativo.

### **2.3.3. Tasas de crecimiento del pez**

Aumento en peso o en longitud por unidad de tiempo (FAO, 2019).

### **2.3.4. Nitrificación**

Es la oxidación biológica del amonio a nitrato por microorganismos aerobios que usan el oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) como aceptor de electrones, es decir, como oxidante. El proceso de nitrificación consiste en dos

procesos distintos, separados y consecutivos, realizados por organismos diferentes (López et al., 2019).

#### **2.3.5. El nitrato**

Es usado como una fuente de alimento por las plantas. Sin embargo, niveles de nitritos superiores a 0,75 ppm en el agua pueden inducir al estrés en peces por más allá de 5 ppm. Así como afectan a los peces, también su afectación es directa con el ambiente acuático eutrofizando las aguas y cambiando el comportamiento químico de los sedimentos (Guo, 2017).

#### **2.7.6. Efluente**

Conjunto muy variado de residuos líquidos que se obtienen como consecuencia de alguna actividad (Hernández et al., 2018).

#### **2.7.7. Sedimentos**

Generalmente los residuos van a parar al sedimento por lo que se ve el monitoreo ambiental de sedimentos para actividades en estaque (langostino, trucha, tilapia, otros) (FAO, 2014).

### **2.7.8. Bacterias nitrificantes**

Las bacterias nitrificantes convierten los residuos de peces, que entran en el sistema principalmente como amoníaco, en nitrato, que es fertilizante para las plantas (FAO, 2014).

### **2.7.9. Eficiencia**

Es la relación existente entre el vector insumos (cantidad, calidad, espacio y tiempo), durante el subproceso estructurado, de conversión de insumos en productos (Milian, 2017).

### **2.7.10. Eficacia**

Es la relación existente entre el vector producto y el vector resultados, durante el subproceso de conversión de productos en resultados; esta relación se establece por la calidad del producto al presentar el máximo de efectos deseados y mínimo de indeseados (Milian, 2017).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el centro poblado Pajana Mohocachi, perteneciente al distrito de Ollaraya provincia de Yunguyo y departamento de Puno, las geográficas de altitud: -16,2311, Longitud: -68,9975 16° 13' 52" Sur, 68° 59' 51" Oeste con una altitud de 3,851 msnm.



**Figura 15.** Ubicación geográfica.

Fuente: Google maps, (2022).

### **3.2. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo aplicada según Vargas (2009), es aquella que pretende dar una alternativa de solución, entendida como la utilización de los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en provecho de los grupos que participan en esos procesos y en la sociedad en general.

Respecto al diseño de investigación se enmarca a un diseño no experimental, definida por Hernández et al., (2016), como aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables, no se realiza la variación en forma intencional de la variable independiente para ver su efecto en otras; lo que se hace es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural.

Es de nivel descriptivo, comparativo y de corte transversal ya que interpreta la situación actual, sobre realidades de hecho, caracterizándose fundamentalmente por presentarlos una interpretación correcta (Tamayo & Tamayo, 2004).

Según Hernández et al., (2016), los estudios comparativos implican el análisis y la síntesis de las similitudes, diferencias y patrones de dos o más casos; transversal porque la recolección de

datos ha sido realizada en un intervalo de tiempo, un proceso de ejecución de 4 meses.

### **3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.3.1. Variable independiente**

Sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).

#### **3.3.2. Variable dependiente**

cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

**Tabla 6.**

Operacionalización de variables de la eficiencia del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*).

<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
	Parámetros físicos	Temperatura Conductividad eléctrica	C dS/cm
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	Características físicas	Peso Talla	g cm
<i>Sistema acuapónico de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss).</i>	Parámetros químicos	Amonio Nitratos Nitritos pH Oxígeno disuelto	mg/l mg/l mg/l unidad de pH mg/l
	Análisis productivo	Cantidad de plantas Análisis de tasa de crecimiento	Unidad/m <sup>2</sup> cm/día
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		Factor de crecimiento porcentual	Incremento de peso
<i>Cultivo de lechuga (Lactuca sativa)</i>			% Humedad % Cenizas % Proteínas totales % Lípidos totales % Carbohidratos totales
	Calidad química	Análisis proximal	

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1. Población**

La investigación contó con una población vegetal de 100 plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*), de las cuales 50 fueron asignadas al cultivo de sistema acuapónico y 50 a un cultivo convencional. Por otro lado, con una población piscícola conformada por 25 unidades de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa alevinaje III con un tamaño de 10 cm y peso promedio de 11 g.

#### **3.4.2. Muestra**

Para esta investigación no se empleó ningún tipo de muestreo por lo cual no fue necesaria de selección de un tamaño de muestra, se realizó las biometrías a cada unidad de estudio.

### 3.5. EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES

**Tabla 7.**

Equipos, instrumentos y materiales.

	<b>NOMBRE DEL ARTÍCULO</b>	<b>CANTIDAD</b>
	<b>EQUIPOS</b>	1 u.
1	Bomba de agua no sumergible de 1,5 hp	1 u.
2	Bomba de agua sumergible (2800 litros/hora)	1 u.
3	Mini compresora de aire (80 W.) con 6 salidas	1 u.
	<b>INSTRUMENTOS</b>	
4	pH metro	1 u.
5	Termómetro	1 u.
6	Kit calidad del agua	1 u.
7	Ictiómetro	1 u.
8	Balanza digital (kg)	1 u.
9	Termohigrómetro digital HTC-2	1 u.
10	Medidor 4 en 1 de TDS, EC, pH, Y T°	1u
11	Medidor de oxígeno disuelto	1 u.
	<b>MATERIALES</b>	
12	Tanque de agua 1 000 litros	1
13	Cilindro de plástico de 200 litros	3 u
14	Canastillas para hidroponía	50 u.
15	Tubo de aire	3 m
16	Piedra de aire	15 u.
17	Triplex crudo	1,30 x2,50m
18	Cinta de teflón (plomero)	3 rollo
19	Abrazadera de cables	15 u.
20	Cinta métrica	1 u.
21	Martillo	1 u.
22	Llave de tubo	3 u.

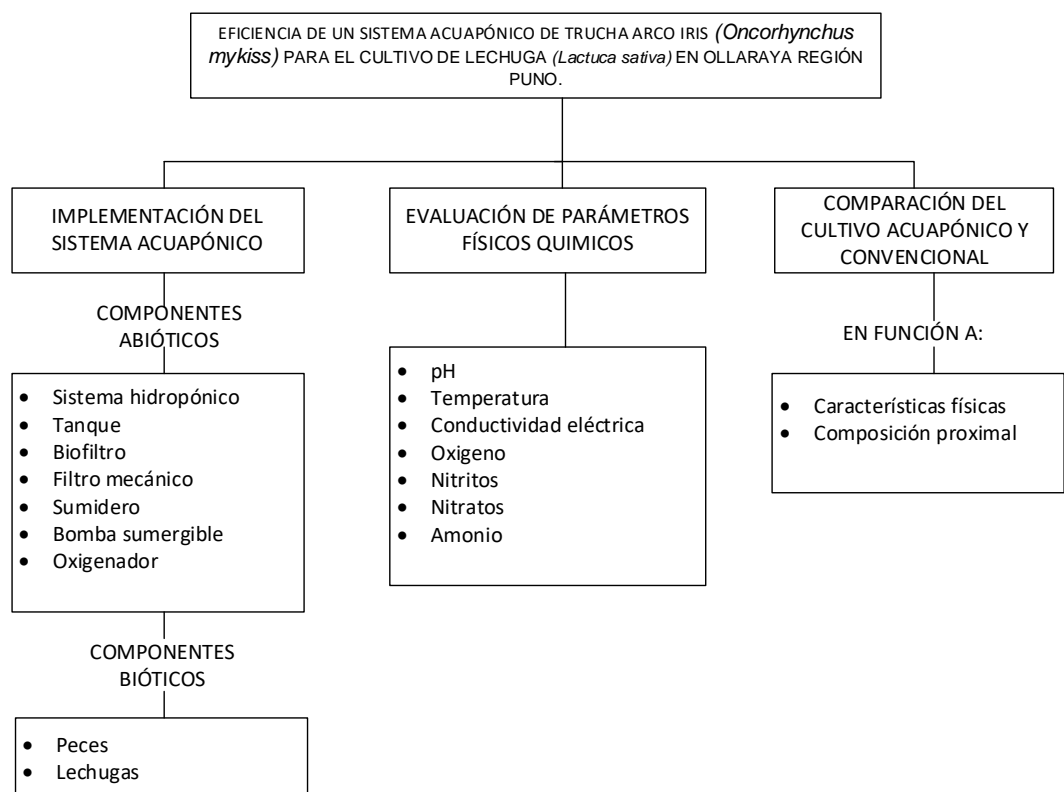
23	Sierra	1 u.
24	Perforador Eléctrico	1 u.
25	Broca circular (sierra de perforación)	1 u.
26	Codo de PVC (50 mm)	5 u.
27	Acoplador de PVC, recto (50 mm)	6 u.
28	Conector de PVC, T (50 mm)	2 u.
29	Tapa / tapón de PVC (50 mm)	4 u.
30	Conector de barril de PVC, tipo B (1 pulgada)	3 u.
31	Grifo de PVC o metal (1 pulg.) Macho a hembra	3 u.
32	Uniseal® (50 mm)	1 u.
33	Tubo de PVC (110 mm)	0.9 m
34	Tubo de PVC (75 mm) con extremo acampanado + tapa de extremo de PVC (75 mm) + arandela de goma (75 mm)	3 u.
35	Tubo de PVC (25 mm)	2 m
36	Conector de barril de PVC, tipo V (1 pulgada)	3 u.
37	Ampliadora de PVC (40–25 mm)	2 u.
38	PVC (25 mm × 1 in) hembra	3 u.
39	Codo de PVC (25 mm × 1 in) hembra	3 u.
40	Tubo de polietileno (25, 20 mm)	3 m
41	Hoja de poliestireno (Tecnopor)	3,5 m <sup>2</sup>
<b>MATERIAL BIOLÓGICO</b>		
42	Alevines en etapa III de trucha	25 unid.
43	Semillas de lechuga	0,6 g.

---

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### 3.6. METODOLOGÍA

La metodología se describió de acuerdo a la siguiente imagen:



**Figura 16.** Metodología seguida para la implementación y conducción del sistema acuapónico.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

#### 3.6.1. Implementación y conducción del experimento

Siendo de importancia estas labores para el experimento se realizó en un ambiente acondicionado tipo invernadero ya que es

aquella estructura cerrada y cubierta por materiales traslúcidos, para obtener un microclima que favorece la producción del cultivo de las plántulas de lechuga. A la vez a fin de evitar las lluvias directas ya que puno se caracteriza por tener un clima frio, seguidamente mencionamos el paso a paso



**Figura 17.** Lugar de experimento.

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### **PASO 1: Instalación de la cubierta**

En primer lugar, se realizó la construcción del ambiente tipo invernadero tomando en cuenta las medidas requeridas de 12 m<sup>2</sup>. y con un techo o cubierto de calamina traslúcido y ventanas transparentes por cada lado, para un adecuado manejo y permita la entrada parcial de la luz y ventilación.

## **Paso 2: Construcción de la caja hidropónica**

Para la construcción de la caja hidropónica (raíz flotante) se utilizó como estructura base varillas de fierro, material principal para que tenga una buena resistencia la estructura hidropónica y la parte interna fue construida con madera y recubierta de plástico, el sistema de raíz flotante tuvo un área de 1,25 x 2,46 m.

a). Se procedió a medir y cortar los listones metálicos, se utilizó 6 listones metálicos en forma de tubo de 0,6 m para las patas con medidas de 50 cm cada pata, 4 listones metálicos de 30 cm para la caja así armar la estructura rectangular y recubierto de material (tríplex) crudo que forma dentro del área de la caja.



**Figura 18.** Tríplex crudo para caja hidropónica

Fuente: Elaboración propia, (2022).



**Figura 19.** Armado de caja de raíz flotante

Fuente: Elaboración propia, (2022).

b). Se limpió las impurezas del interior de la caja hidropónica para cubrir con el plástico toda la caja hidropónica.



**Figura 20.** Cubierta de plástico de la caja hidropónica en raíz flotante.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

c). Ya terminada la caja para el sistema de raíz flotante se procedió a medir y hacer los agujeros (25 cm de separación entre agujero) en el Tecnopor, ya que sirvió para base de las plantas.



**Figura 21.** Perforación del poliestireno expandido (Tecnopor).

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### **PASO 3: Compra de materiales e insumos (contenedores de plástico)**

Se hizo la compra de un tanque para albergar truchas de 1000lt y para los biofiltros de 200 lt, a la vez para el sumidero de 200 lt.

## **Tanque para peces**

Se utilizó un depósito con forma de cuadrado con capacidad útil de 1 000 litros para albergar la población de peces; no se realizó recambio total de agua durante la investigación.



**Figura 22.** Tanque para peces.

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

## **Biofiltro**

Se utilizó un cilindro de plástico de 200 litros. Para optimizar el correcto funcionamiento del sistema, que a la vez estuvo compuesto de tapas de botellas de una cantidad de 2 000 unidades.



**Figura 23.** Biofiltro

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### **Filtro mecánico**

Se utilizó un cilindro de plástico de 200 litros. Para optimizar el desempeño de la filtración mecánica dentro del sistema y remover los sólidos en suspensión se construyó un filtro; siguiendo la metodología de Somerville (2014).

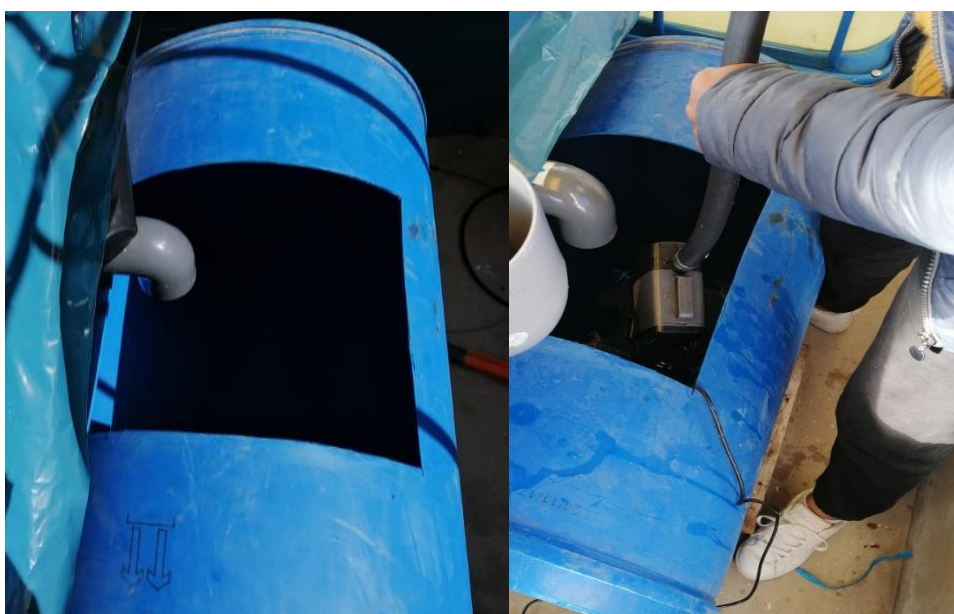


**Figura 24.** Filtro mecánico

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### **Sumidero**

Se utilizó como sumidero de agua un cilindro de plástico de 200 litros de capacidad, que abasteció el tanque de los peces, para el sistema de recirculación y para compensar la pérdida del agua por evaporación que a la vez se aumentó cada semana un aproximado de 21litros, la aireación fue mediante la caída de agua.



**Figura 25.** Sumidero

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### **Bomba de agua sumergible**

Tal como recomienda Somerville (2014), el agua circula mediante una bomba de agua sumergible de flujo máximo 3 000 litros/hora, de la marca WP5000/SOBO. La cual fue colocada dentro del Sumidero.



**Figura 26.** Bomba de agua sumergible.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

#### **PASO 4: Instalación de tuberías**

Para ello se utilizaron tuberías PVC y accesorios de 75 mm de diámetro. Las tuberías transportaron el agua, además de mantener con aireación constante al sistema.



**Figura 27.** Instalación de tuberías

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **PASO 5: Siembra de los peces de trucha arco iris**

Fueron los primeros organismos en ingresar al sistema, para ir produciendo el amonio. Conformó una densidad de 25 peces para el sistema acuapónico el volumen de agua promedio de 1 m<sup>3</sup> del tanque. Los alevines de truchas sembrados fueron traídos de las jaulas flotantes que pertenece a la empresa de PAYE SONCO PESQUERA E.I.R.L. con representante legal Sr. Lázaro, con un peso de 11 g y 10 cm de longitud.



**Figura 28.** Siembra de alevín en etapa III.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

## Alimentación

Se utilizó alimento extruido formulado especialmente para truchas, marca *Nicovita*.

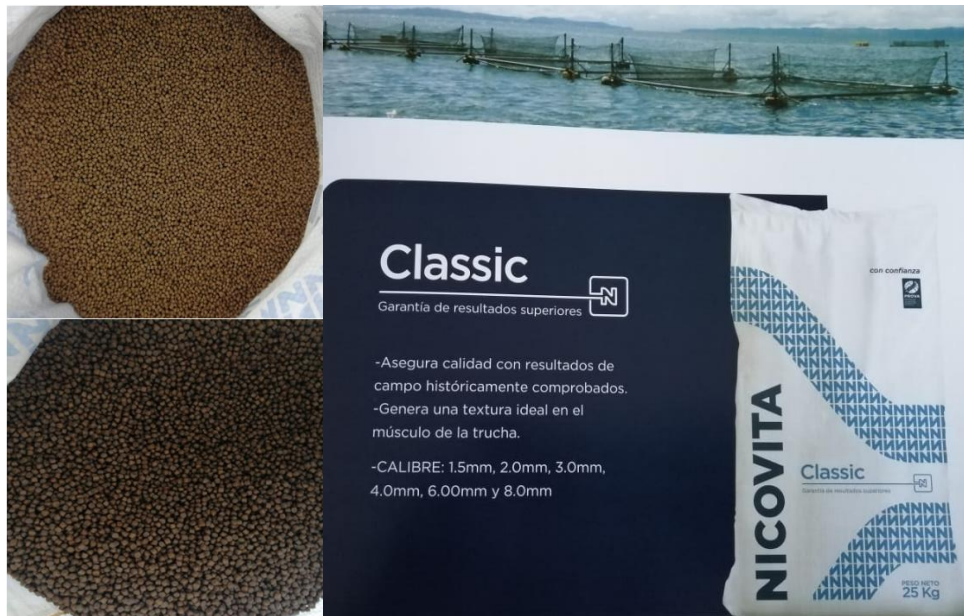
**Tabla 8.**

*Concentrado nutricional de Nicovita (truchas).*

<b>PRODUCTO</b>	<b>Calibre (mm)</b>	<b>Proteína (%min.)</b>	<b>Grasa (%min.)</b>	<b>Ceniza (%máx.)</b>	<b>Humedad (%máx.)</b>	<b>Fibra (%máx.)</b>
<b><i>Nicovita Classic trucha 2</i></b>	1,5	50	13	15	12	3
<b><i>Nicovita classic Trucha 5</i></b>	2	45	13	15	12	3
<b><i>Nicovita classic trucha 25</i></b>	3	42	13	15	12	3
<b><i>Nicovita classic Trucha 60</i></b>	4	42	13	12	12	3,5
<b><i>Nicovita classic trucha 150</i></b>	6	40	13	12	12	3,5
<b><i>Nicovita classic Trucha 150 P</i></b>	6	40	15	12	12	3,5

*Fuente: Nicovita, (2017)*

El alimento fue esparcido al voleo para que su distribución sea homogénea en la superficie del agua, se alimentó con alimento de *Nicovita classic* (2, 3, 4, 6 de mm de calibre) en su etapa de alevin, juvenil, engorda.



**Figura 29.** Alimento suministrado

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **Trasplante de lechugas al sistema acuapónico**

Fueron los últimos organismos que entraron en el sistema acuapónico, después de 7 semanas que los peces ingresaron tomando como referencia (Arroyo, 2018).

Las lechugas fueron sembrados, primeramente, en tierra en similitud como en la de un semillero, utilizando como sustrato abono orgánico, colocando una semilla por cada 3 cm de espacio a una profundidad de 2 mm.



**Figura 30.** Plántulas de lechuga

Fuente: Elaboración propia, (2022).

a) Cuando las plántulas de lechuga presentaron 3 a 4 hojas tomando referencia a Ovando (2017), con una altura de 8 cm, estuvieron listas para ser trasplantadas.



**Figura 31.** Plántulas de lechugas listas para acuaponía.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

b) Se tomaron 50 plántulas de lechugas las cuales fueron trasplantadas en sistema de raíz flotante, tuvieron 25 cm de separación entre lechugas.



**Figura 32:** Crecimiento a los 15 días de las plántulas de lechuga  
*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### **Lechuga en sistema convencional**

Se extrajeron las plántulas del almacigo juntamente con la técnica de cultivo acuapónico. Se procedió a plantar las plántulas en tierra con una cubierta de malla Rachell para evitar de las lluvias y granizos en la zona y así poder realizar una comparación de peso y talla final del sistema acuapónico y convencional.



**Figura 33.** Lechugas en sistema convencional a los 30 días.

Fuente: Elaboración propia, (2022).



**Figura 34.** Lechuga convencional a los 60 días de trasplantado

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### 3.6.2. Parámetros físicos químicos del sistema acuapónico

Para evaluar los niveles de amonio, nitritos, nitratos y pH se utilizó *Freshwater test kit de API*.



**Figura 35.** *Freshwater test kit de API.*

Fuente: API

#### **pH**

Para evaluar el nivel de pH se contó con líquido que actúa como reactivo colorimétrico sobre una muestra de agua. La sustancia utilizada fue pH test *solution del Kit API Freshwater*, y solo basta con tomar una muestra de 5ml en un tubo de ensayo, se añadió 3 gotas del reactivo, sellar y agitar por 30 segundos para lograr una mezcla uniforme. Finalmente, según el color arrojado se comparó con los rangos establecidos por el reactivo para obtener a groso modo el valor

del pH de acuerdo al color, también se hizo uso de un medidor de pH digital con el objetivo de comparar ambos resultados.



**Figura 36.** Determinación de pH del agua  
*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### **Amonio**

Para el cálculo de la cantidad de amonio presente en la solución en “ppm” (partes por millón), equivalente a miligramos por litro (mg/l), se utilizó el kit *API*, el cual consta de dos reactivos.



**Figura 37.** Determinación de amonio

Fuente: API

### Nitritos

Se realizó la evaluación de los miligramos de nitritos en 5 ml de muestra, para contrastarlos con los rangos de tolerancia de cada ecosistema, de manera que se asegure la viabilidad y calidad del sistema acuapónico, en zona urbana. Para el análisis de este parámetro fue necesario el kit API.



**Figura 38.** Determinación del nitrito

Fuente: API

## Nitratos

Al igual que el anterior parámetro fue necesario el kit *API* para obtener los valores de concentración presentes en la solución nutritiva. Este parámetro se analizó detenidamente, debido a que es el nutriente más requerido por las plantas para su fertilización, crecimiento y nutrición.



**Figura 39.** Determinación de nitratos

Fuente: *API*.

## Oxígeno disuelto

Para la evaluación de la cantidad de oxígeno disuelto en el contenedor de peces y a la vez de la caja hidropónica se utilizó (medidor de oxígeno de bolsillo), además da lectura de la temperatura.



**Figura 40.** Medición de cantidad de oxígeno

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **Conductividad eléctrica**

Para determinar la conductividad eléctrica se empleó un multiparámetro 4 en 1 para evaluar la cantidad de sales disueltas en el estanque y en el sistema de raíz flotante, se mide en *decisiemens* por metro (dS/m) semanalmente.



**Figura 41.** Medición de C.E.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

## Temperatura

Para evaluar la temperatura del agua se hizo uso de un termómetro digital, dicho parámetro fue evaluado diariamente para trabajar en base a promedios.



**Figura 42.** Medición de temperatura

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### 3.6.3. biometría de lechuga y trucha arco iris

#### Lechuga (*Lactuca sativa*)

En acuaponía la biometría de lechuga se realizó semanalmente (longitud de hoja y raíz), en registro al peso fue al inicio y finalizando.

En el cultivo convencional, el peso fue tomado al iniciar y finalizar, en relación a la altura y ancho de la hoja se midió semanal.



**Figura 43.** Medición de longitud de raíz.

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*



**Figura 44.** Medición de longitud de hoja.

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*



**Figura 45.** *Peso de la lechuga.*

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

### ***Truchas (Oncorhynchus mykiss)***

La evaluación de peso y longitud de los peces se realizó con frecuencia quincenal, realizando 8 evaluaciones (biometría) en los 120 días de terminado el proyecto a todos los peces que conforman la población de estudio (Culcos G. S., 2019). Dicha actividad se realizó en las primeras horas de la mañana, se ocupó una balanza digital de precisión de 0,1 g y un ictiómetro de rango 0 a 60 cm.



**Figura 46.** Longitud de la trucha  
Fuente: Elaboración propia, (2022).



**Figura 47.** Peso de la trucha  
Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **Determinación de análisis proximal de la lechuga cultivada en acuaponía y convencional**

La determinación de análisis proximal se llevó a cabo en el laboratorio de tecnología de ESIP, donde se determinó el % de humedad, cenizas, proteínas totales, lípidos totales, carbohidratos totales.

#### **3.7. TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

La técnica empleada para la recolección de datos es la observación directa porque de esta manera se obtuvo un registro de lo que ocurrió in situ en el sistema acuapónico durante el tiempo de estudio, facilitando una mejor comprensión del comportamiento tanto en la eficiencia de los efluentes de trucha arcoíris y en la producción de lechuga. La observación de los hechos fue registrada teniendo como instrumento la ficha de recolección de datos, además con cámara fotográfica e instrumentos de laboratorio. En cuanto a la validez y confiabilidad de los análisis que realizamos fue en el laboratorio de tecnología de la escuela profesional de ingeniería pesquera. El análisis de los datos se realizó con el software SPSS

versión N° 26. Se utilizaron además gráficos y tablas de clasificación en microsoft excel 2016.

### **3.8. MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.**

Para la presentación de datos se empleó la estadística descriptiva a fin de detallar las características y comportamiento de las variables en forma gráfica. Para el contraste de hipótesis se utilizó la estadística inferencial con el estadístico T de student para determinar si existe diferencia entre los cultivos determinando la eficiencia del sistema acuapónico.

#### **Análisis de crecimiento**

El crecimiento se evaluó mediante la evaluación biológica utilizado por (Vega, y otros, 2018)

$$\text{Sobrevivencia} \quad S = \frac{N_f}{N_i} \times 100$$

Donde:

$N_f$  , es el número final de organismos

$N_i$  , es el número inicial de organismos.

## **Análisis de tasa de crecimiento y la tasa específica de crecimiento de las lechugas**

Se calculó la tasa de crecimiento y la tasa específico de las lechugas por el siguiente método utilizado por Simón y wuillan (2014).

**Tasa de crecimiento (cm/día):**

$$TC = \frac{(longitud\ final - longitud\ inicial)}{tiempo\ final - tiempo\ inicial}$$

## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*), frente a un cultivo convencional en Ollaraya, región Puno.

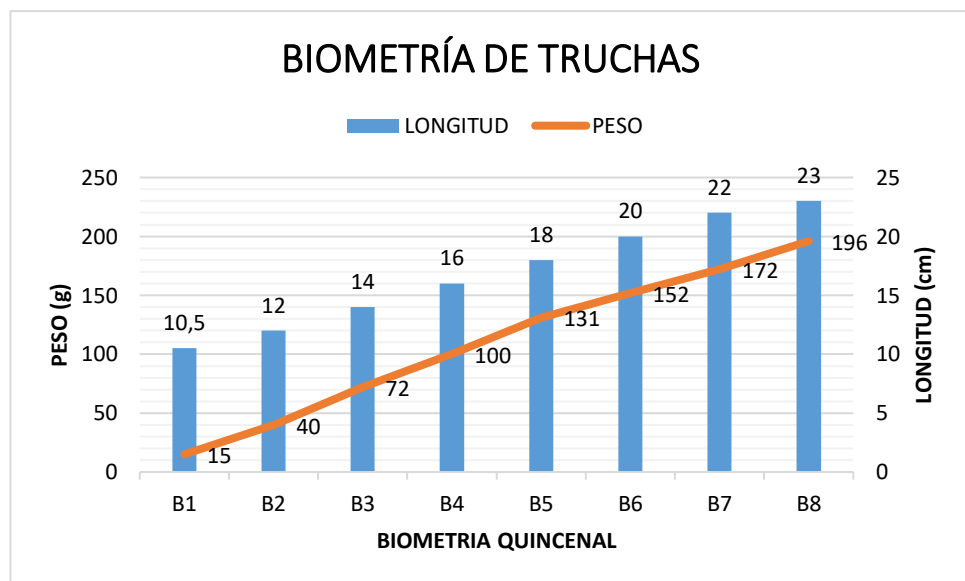
**Tabla 9.**

*Tasas de crecimiento de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*

	<b>Biometría (tiempo)</b>				
	01 días	30 días	60 días	90 días	120 días
<b>Sobrevivencia</b>	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Longitud de la trucha</b>	10 cm	12 cm	16 cm	20 cm	23 cm
<b>Peso de la trucha</b>	11 g	40 g	100 g	152 g	196 g
<b>Dosis de alimentación</b>	2,6 %	2,3%	1,9 %	1,5 %	1,3 %

Fuente: Elaboración propia, (2022).

Las biometrías de las truchas fueron tomadas con frecuencia quincenal; a los 30 días las truchas alcanzaron una longitud y peso promedio de 12 cm y 40 g, a los 60 días alcanzaron los 16 cm y 100 g, a los 90 días alcanzaron los 20 cm y 152 g en promedio y al cuarto mes siendo los 120 días de experimentación alcanzaron una longitud de 23 cm y 196 g en promedio.



**Figura 48.** Biometría de trucha arco iris.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

La figura 44 representa las biometrías quincenales realizadas a los 25 ejemplares de trucha durante los 4 meses. La línea naranja representa el incremento en peso promedio de las unidades de trucha, las cuales iniciaron con un peso promedio de 11 gramos y llegaron

197,92 gramos en promedio presentando una ganancia de 186,84 gramos en promedio equivalente a un incremento de 1,56 gramos diarios. Asimismo, las barras de color azul representan la longitud de las truchas, la longitud inicial de las truchas en etapa alevinaje III fue de 10 cm, presentando al término del proyecto una longitud de 23,24 cm en promedio significando un incremento promedio de 12,92 cm equivalente a una tasa específica de crecimiento diario de 0,11 cm en promedio.

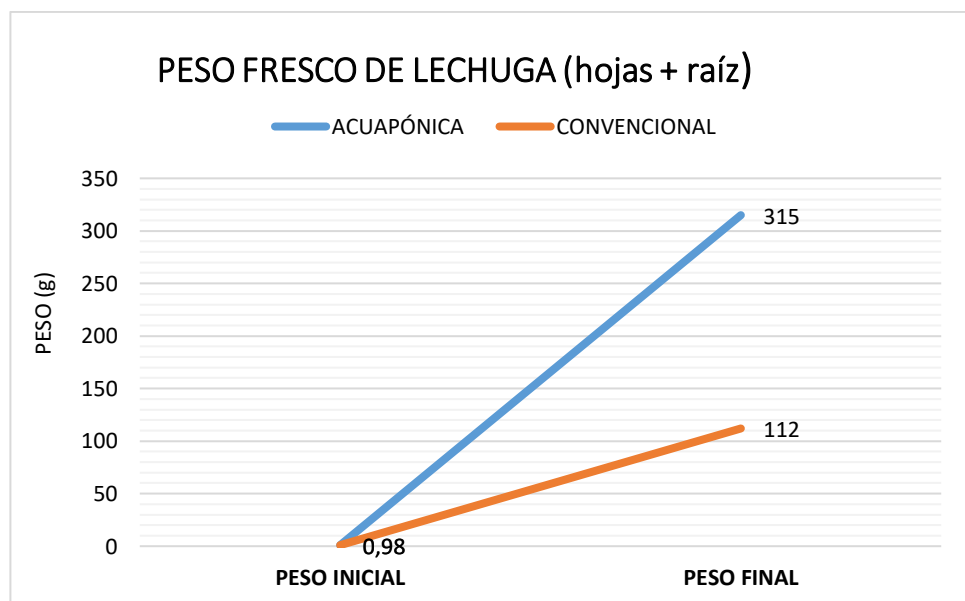
**Tabla 10.**

*Tasas de crecimiento promedio de lechuga (Lactuca sativa).*

<b>Cultivo</b>	<b>Tasas</b>	<b>Biometría</b>	
		Inicial	Final
<b>Lechuga acuapónica</b>	Sobrevivencia	100%	100%
	Peso	0,98 g	315 g
	Longitud de raíz	5,00 cm	23,00 cm
	Longitud de hoja	7,90 cm	25,30 cm
	Ancho de hoja	1,8 cm	15,4 cm
<b>Lechuga convencional</b>	Sobrevivencia	100%	100%
	Peso	0,98 g	112,2 g
	Longitud de raíz	5,00 cm	12,00 cm
	Longitud de hoja	7,90 cm	15,70 cm
	Ancho de hoja	1,9 cm	12 cm

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

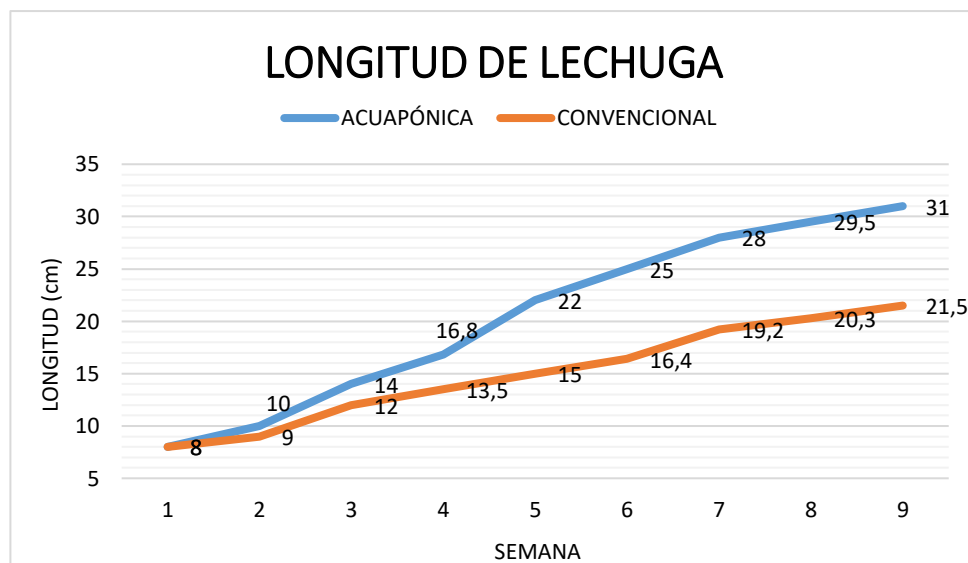
La tabla muestra la biometría inicial y final obtenidas en ambos cultivos de lechuga, respecto al peso fresco de lechuga; las plántulas de ambos cultivos iniciaron con un peso promedio de 0,98 gramos alcanzando un peso promedio de 315 gramos para lechuga acuapónica y 112.2 gramos en la lechuga convencional. Respecto a la longitud de hoja, ambos cultivos iniciaron con 7,9 cm sin embargo la lechuga acuapónica alcanzó una longitud de 25,3 cm; mientras que la longitud de hoja de la lechuga convencional alcanzó tan solo los 15,7 cm en promedio.



**Figura 49.** Peso fresco de lechuga acuapónica y convencional.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

El peso promedio inicial para la lechuga acuapónica y convencional fue de 0,98 gramos, ambos cultivos contaban con una población de 25 plántulas de lechuga, al final del experimento se evidencia un crecimiento diferenciado, la lechuga acuapónica alcanzo un peso promedio de 315 gramos mientras que la lechuga convencional solo llego a pesar 112 gramos en promedio.



**Figura 50.** Longitud de lechuga acuapónica y convencional.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

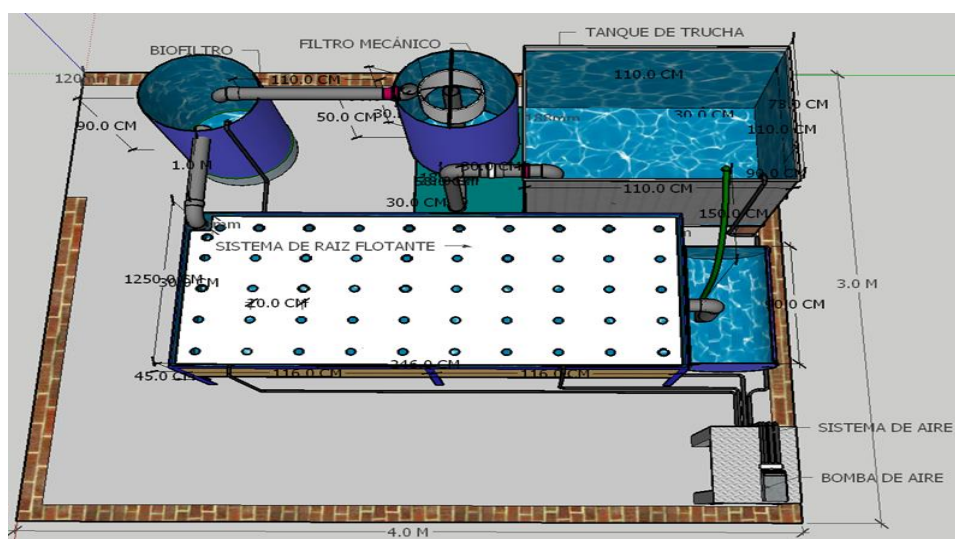
Las biometrías a las plántulas de lechuga fueron realizadas semanalmente, partiendo de una longitud inicial de 7,9 cm para ambos cultivos, sin embargo, se observa que el crecimiento se diferencia a partir de la segunda hasta la novena semana, la longitud

que alcanza la lechuga acuapónica es de 25,3 cm mientras que la lechuga convencional llega a los 15,7 cm en promedio.

#### 4.1.2. Objetivo específico 1

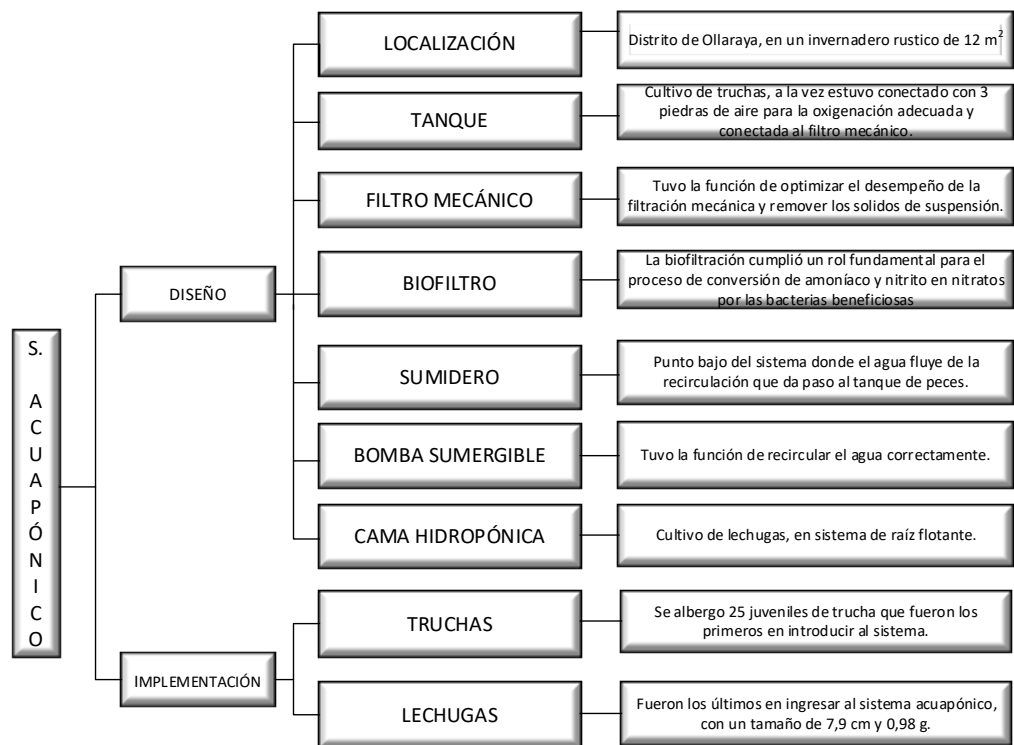
Implementar un sistema acuapónico de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), usando agua del lago Titicaca.

La implementación del sistema acuapónico se llevó a cabo en el distrito de la Ollaraya, en un espacio de 12 m<sup>2</sup>, el mismo que estuvo implementado a nivel de laboratorio, para ello se siguieron los lineamientos establecidos por Colagrosso (2014), Calo et al., (2011) y Somerville (2014).



**Figura 51.** Diseño e implementación del sistema acuapónico.

**Fuente:** Elaboración propia, (2022).



**Figura 52.** Procesos para la implementación del sistema.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

## Implementación de los componentes del sistema

### Tanque de peces

Se realizó la perforación a una altura de 0,70 m del tanque de peces para luego colocar un tubo de 63 mm (acompañado de un contra tuerca de 2 pulgadas y codos de 2 p.); luego se adicionó el filtro mecánico y biofiltro.

Luego se colocó un sifón desde el interior (centro) del tanque a una altura de 0,70 m.

### **Filtro mecánico y biofiltro**

Se procedió a colocar un cilindro de 200 litros. Al lado del tanque de los peces, lo cual se hizo la conexión con dos codos y un tubo de 2 pulgadas de 0,5 m de largo, se hizo un agujero en la parte del costado (inferior) del cilindro para luego instalar una llave para su desfogue.

Luego de tener listo estas conexiones con el tanque de los peces y el cilindro de 200 litros. Se procedió hacer un agujero en la parte del costado (superior) que estas se conectan con el biofiltro (que contiene tapas de botella de plástico) y seguido a ello el sistema de raíz flotante

### **Sumidero**

Se surgió a colocar un cilindro de 200 litros al lado del sistema de raíz flotante y costado del tanque de peces, se procedió hacer un agujero rectangular (0,35-0,40 m) en la parte del costado (media) que a su interior reposa la bomba de agua.

Se hizo conexiones de salida para el tanque de peces y raíz flotante con una manguera de 20 mm para fines de recirculación del agua.

### **Bomba sumergible**

Se instaló una bomba de agua WP5000/SOBO de flujo 2 800 litros/hora, elevación máxima 3 m, potencia de 80 watts con dimensiones largo 14 cm, ancho 8 cm y altura 10 cm.

### **Bomba de aire**

Se uso piedras de aire para la oxigenación del sistema ya que es un factor importante a tomar en cuenta porque es esencial para los ecosistemas acuáticos y para la calidad del agua, y en su ausencia genera efectos drásticos rápidamente. Los peces pueden morir en pocas horas cuando se exponen a bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

### **Implementación de la cama hidropónico (raíz flotante)**

Se realizó esta actividad utilizando estructura metálica y complemento de triplex de madera, y para impermeabilizar se forró con un plástico doble cara (azul y negro) para impedir la fuga de agua, lo mencionado tuvo un área de 3,0 m<sup>2</sup>.

### **Componentes bióticos**

Para dar inicio a la fase acuapónica fueron agregados 25 truchas en etapa alevinaje III al sistema, que fueron alimentados con

alimento balanceado (Nicovita), para determinar la calidad del agua se realizaron evaluaciones periódicas midiendo los parámetros físicos, químicos y determinar los niveles suficientes para ingresar el segundo componente al sistema que es la (lechuga). Las plántulas de lechuga fueron ingresadas al sistema con un peso y longitud promedio de 0,98 g y 7,9 cm después de 7 semanas que ingresaron las truchas.



**Figura 53.** Sistema acuapónico piloto (antes y después)

Fuente: Elaboración propia, (2022).

#### 4.1.3. Objetivo específico 2

Evaluar los parámetros físico-químicos del sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*).

Un aspecto importante para el desarrollo de la investigación es determinar los parámetros físico químicos como son: la temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, amonio, nitritos y nitratos.

**a. Temperatura del agua**

**Tabla 11.**

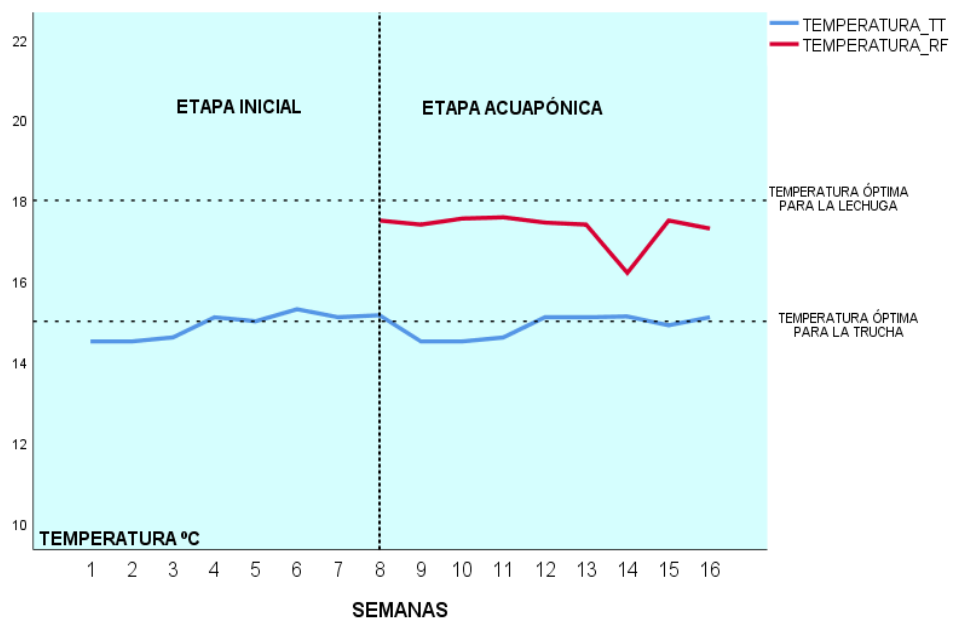
*Niveles de temperatura promedio en el efluente (°C).*

<b>SEMANA</b>	<b>TANQUE DE TRUCHAS</b>	<b>RAIZ FLOTANTE</b>
<b>1</b>	14,50	
<b>2</b>	14,50	
<b>3</b>	14,60	
<b>4</b>	15,10	
<b>5</b>	15,00	
<b>6</b>	15,30	
<b>7</b>	15,10	
<b>8</b>	15,15	17,50
<b>9</b>	14,50	17,40
<b>10</b>	14,50	17,55
<b>11</b>	14,60	17,58
<b>12</b>	15,10	17,45
<b>13</b>	15,10	17,40
<b>14</b>	15,12	16,20
<b>15</b>	14,90	17,50
<b>16</b>	15,10	17,30

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

El proceso de producción del sistema acuapónico duró 16 semanas. Durante este tiempo se tomó registro en 2 puntos del sistema acuapónico, el primero en etapa inicial referido el tanque de truchas y el segundo en el sistema de raíz flotante concerniente al cultivo de lechugas.

En la etapa inicial referente al tanque de truchas se registró una temperatura promedio de 14,8 °C, con una máxima de 15,30 °C y una mínima de 14,5°C, asimismo en la etapa de cultivo de lechuga (raíz flotante) se registró una temperatura promedio de 17,3, °C, con una máxima de 17,5°C.



**Figura 54.** Promedio de niveles de temperatura

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**b. Conductividad eléctrica (dS/m).**

**Tabla 12.**

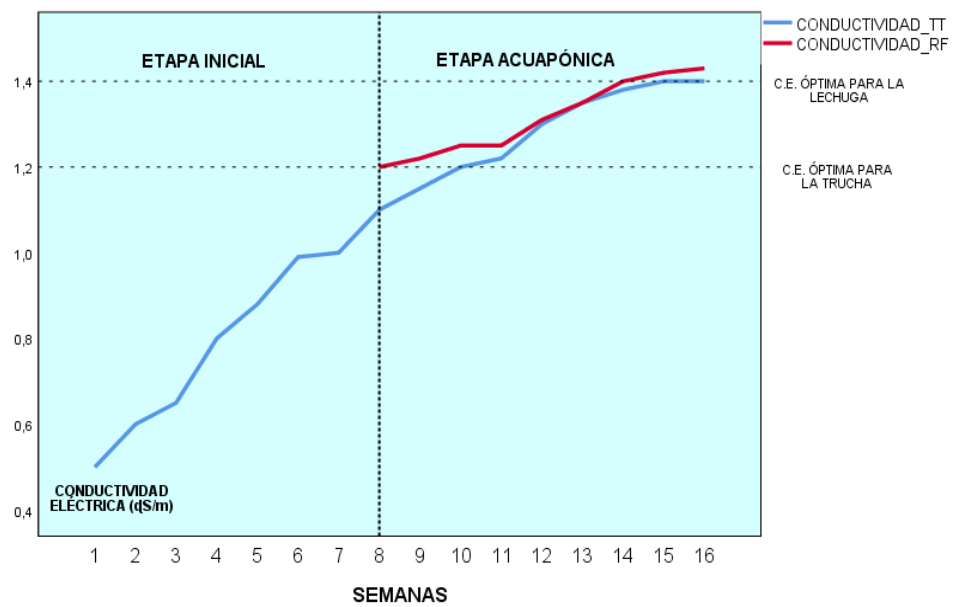
*Niveles de conductividad eléctrica registrados en los efluentes del sistema*

<b>SEMANA</b>	<b>TANQUE DE TRUCHAS</b>	<b>RAIZ FLOTANTE</b>
<b>1</b>	0,50	
<b>2</b>	0,60	
<b>3</b>	0,65	
<b>4</b>	0,80	
<b>5</b>	0,88	
<b>6</b>	0,99	
<b>7</b>	1,00	
<b>8</b>	1,10	1,20
<b>9</b>	1,15	1,22
<b>10</b>	1,20	1,25
<b>11</b>	1,22	1,25
<b>12</b>	1,30	1,31
<b>13</b>	1,35	1,35
<b>14</b>	1,38	1,40
<b>15</b>	1,40	1,42
<b>16</b>	1,40	1,43

*Fuente: Elaboración propia, (2022)*

Para determinar la conductividad eléctrica se hizo uso de un multiparámetro 4 en 1, seguido en ello los niveles de conductividad eléctrica registradas en el tanque de truchas fue en promedio de 1

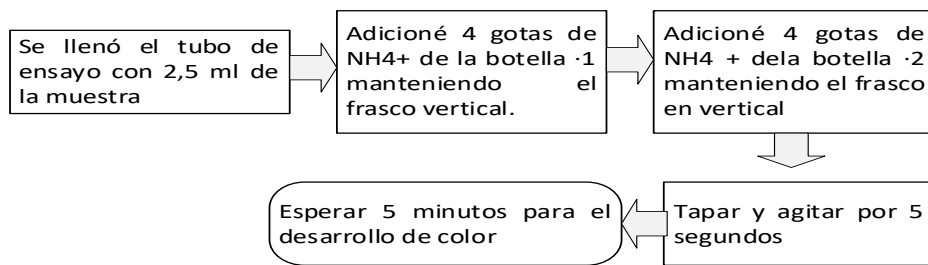
qS/m, con un máximo de 1,40 qS/m. Asimismo, los muestreos realizados al sistema de raíz flotante en promedio presentaron 1,30 qS/m, y con un máximo de 1,40 qS/m.



**Figura 55.** Promedio de niveles de conductividad eléctrica  
Fuente: Elaboración propia, (2022).

**c. Amonio (mg/l).**

Para la determinación de la cantidad de amonio presente en el sistema se tomó muestras con el kit de agua API calculados en “ppm” (partes por millón), equivalente a miligramos por litro (mg/l).



**Figura 56.** Pasos para la medición de amonio

Fuente: Elaboración propia, (2022).

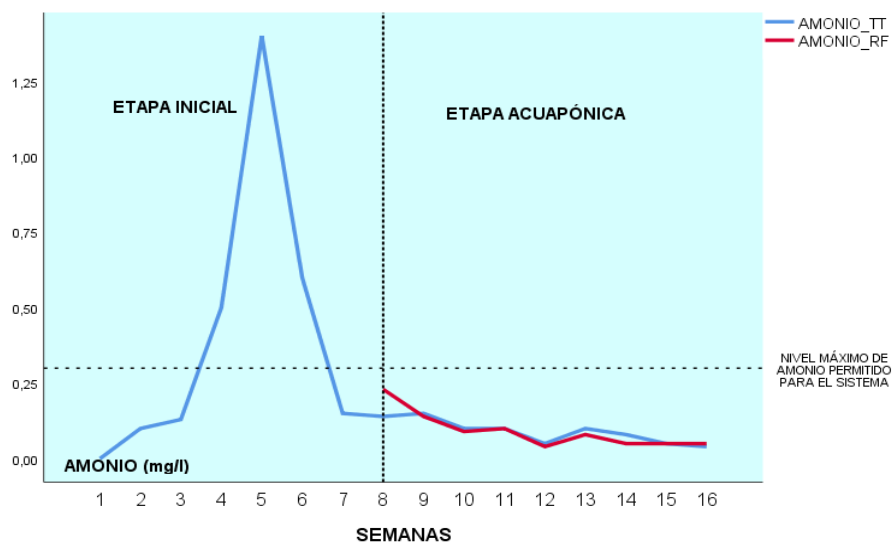
**Tabla 13.**

Niveles de amonio registrado en los efluentes del sistema

<b>SEMANA</b>	<b>TANQUE DE TRUCHAS</b>	<b>RAIZ FLOTANTE</b>
1	0,00	
2	0,10	
3	0,13	
4	0,50	
5	1,40	
6	0,60	
7	0,15	
8	0,14	0,23
9	0,15	0,14
10	0,10	0,09
11	0,10	0,10
12	0,05	0,04
13	0,10	0,08
14	0,08	0,05
15	0,05	0,05
16	0,04	0,05

Fuente: Elaboración propia, (2022).

Las concentraciones de amonio en el tanque de truchas fueron de 0,2 mg/l en promedio, con una concentración máxima de 1,4 mg/l, referente al sistema de raíz flotante la concentración durante las 9 semanas presento de 0,09 mg/l, y con un máximo de 0,23 mg/l en promedio.

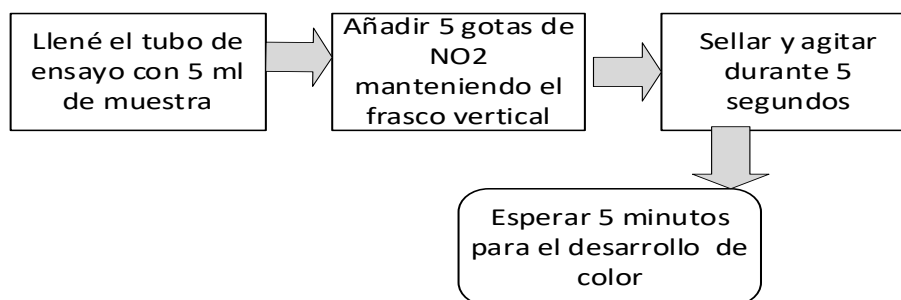


**Figura 57.** Promedio de niveles de amonio

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**d. Nitritos (mg/l).**

Se realizó la evaluación de los miligramos de nitritos en 5 ml de muestra, para contrastarlos con los rangos de tolerancia de cada ecosistema, de manera que se asegure la viabilidad sistema acuapónico.



**Figura 58.** Pasos para la medición de nitritos

Fuente: Elaboración propia, (2022).

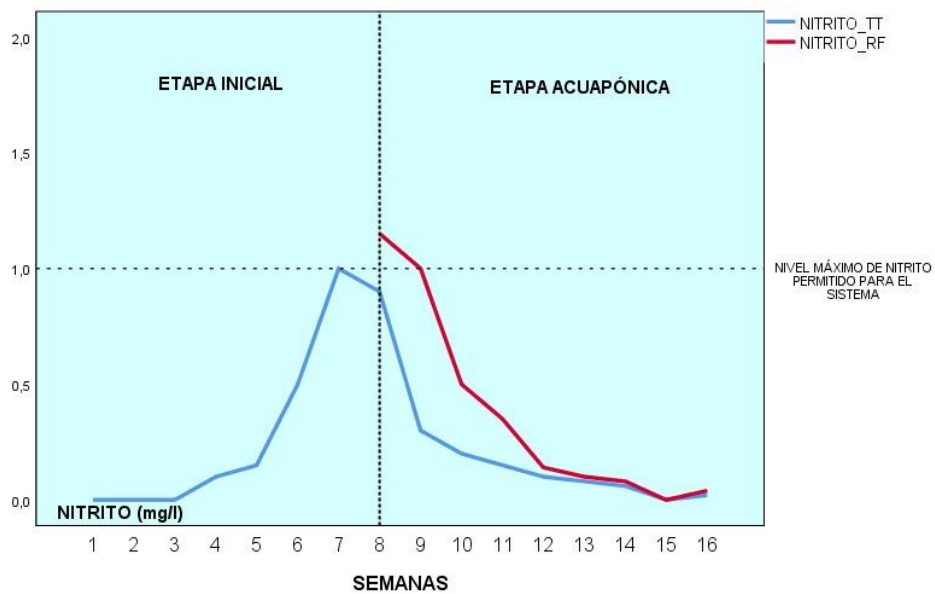
**Tabla 14.**

Niveles de nitrito en los efluentes del sistema

<b>SEMANA</b>	<b>TANQUE DE TRUCHAS</b>	<b>RAIZ FLOTANTE</b>
<b>1</b>	0,00	
<b>2</b>	0,00	
<b>3</b>	0,00	
<b>4</b>	0,10	
<b>5</b>	0,15	
<b>6</b>	0,50	
<b>7</b>	1,00	
<b>8</b>	0,90	1,15
<b>9</b>	0,30	1,00
<b>10</b>	0,20	0,50
<b>11</b>	0,15	0,35
<b>12</b>	0,10	0,14
<b>13</b>	0,08	0,10
<b>14</b>	0,06	0,08
<b>15</b>	0,00	0,00
<b>16</b>	0,02	0,04

Fuente: Elaboración propia, (2022)

En el tanque de truchas las concentraciones promedio de nitrito registradas fueron de 0,23 mg/l en promedio, la concentración inicial y máxima fue de 0,00 mg/l y 1,0 mg/l respectivamente, en el sistema de raíz flotante se registró una concentración promedio de 0,37 mg/l y una máxima de 0,90 mg/l.



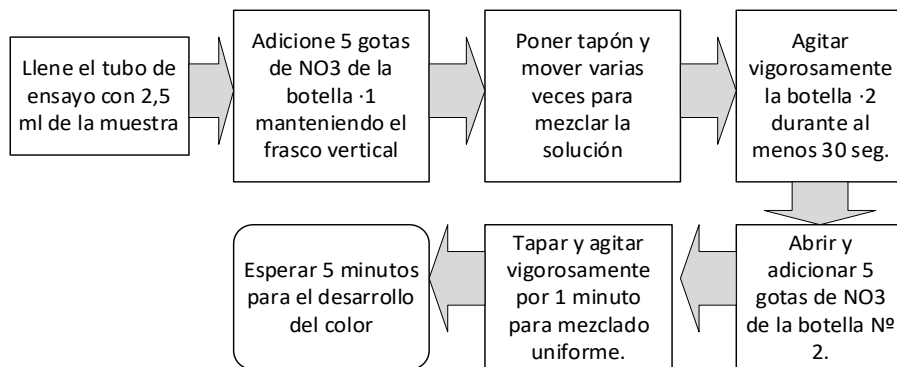
**Figura 59.** Promedio de niveles de nitritos

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**e. Nitratos (mg/l).**

Para obtener los valores de concentración presentes en la solución nutritiva. Este parámetro se analizó detenidamente, debido a que es el nutriente más requerido por las plántulas de lechuga, que

influye en el crecimiento y nutrición. La deficiencia de los nitratos en las plantas causaría desequilibrio en la captación de otros nutrientes.



**Figura 60.** Pasos para la medición de nitratos

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 15.**

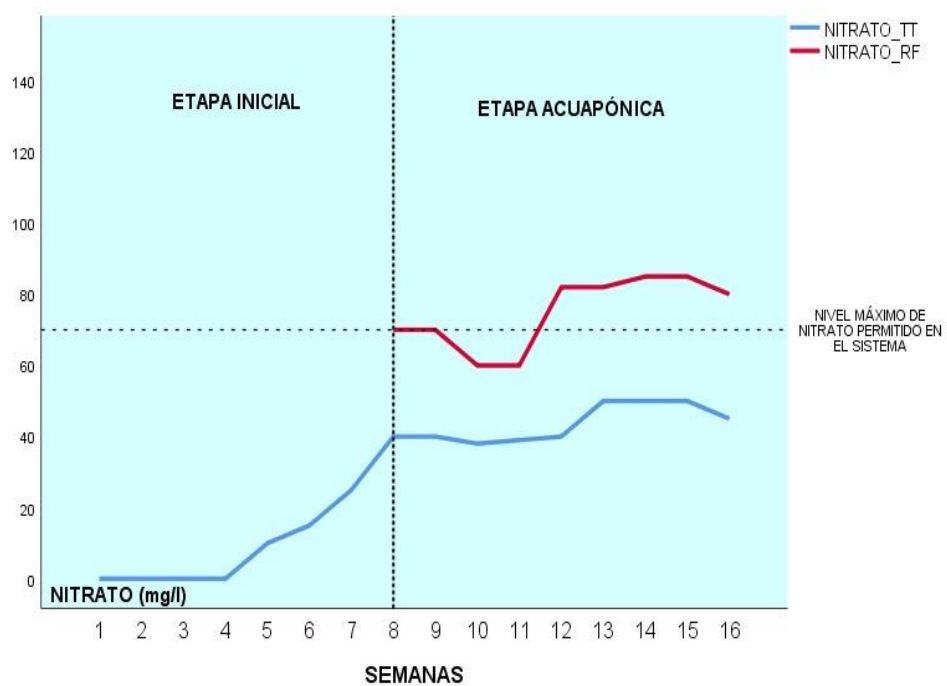
Niveles de nitrato en los efluentes del sistema

<b>SEMANA</b>	<b>TANQUE DE TRUCHAS</b>	<b>RAIZ FLOTANTE</b>
<b>1</b>	0,00	
<b>2</b>	0,00	
<b>3</b>	0,00	
<b>4</b>	0,00	
<b>5</b>	10,00	
<b>6</b>	15,00	
<b>7</b>	25,00	
<b>8</b>	40,00	70,00
<b>9</b>	40,00	70,00
<b>10</b>	38,00	60,00
<b>11</b>	39,00	60,00
<b>12</b>	60,00	82,00

<b>13</b>	50,00	82,00
<b>14</b>	50,00	85,00
<b>15</b>	50,00	85,00
<b>16</b>	45,00	80,00

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

Durante las 16 semanas de desarrollo, la concentración promedio de nitrato registrado en el tanque de truchas fue de hasta 28 mg/l en promedio, asimismo alcanzo una máxima de 60 ml/l, en el sistema de raíz flotante la concentración promedio registrada durante las 9 semanas fue de 75 mg/l, con una máxima de 85 mg/l.



**Figura 61.** Promedio de niveles de nitratos

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

**f. pH**

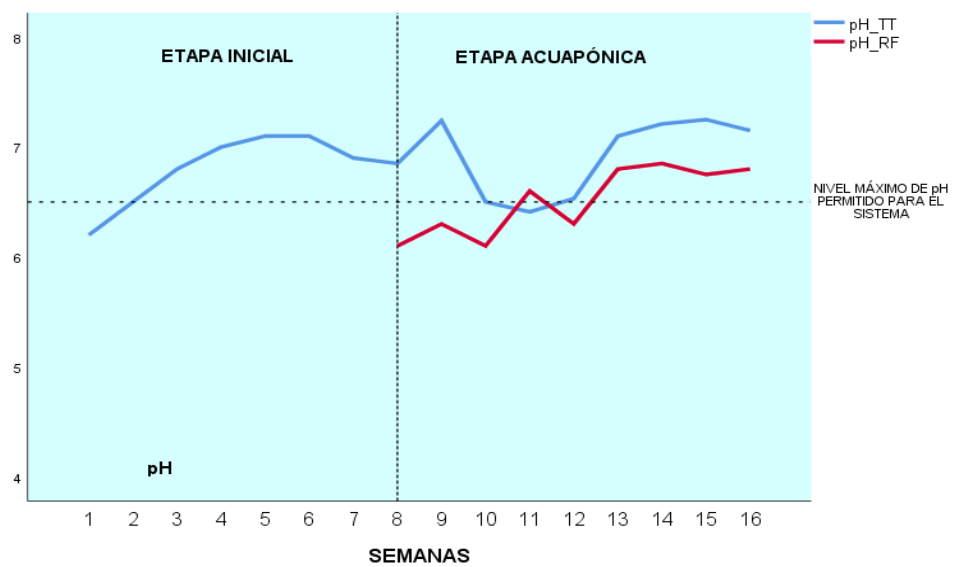
**Tabla 16.**

*Niveles de pH en los efluentes del sistema*

<b>SEMANA</b>	<b>TANQUE DE TRUCHAS</b>	<b>RAIZ FLOTANTE</b>
<b>1</b>	6,20	
<b>2</b>	6,50	
<b>3</b>	6,80	
<b>4</b>	7,00	
<b>5</b>	7,10	
<b>6</b>	7,10	
<b>7</b>	6,90	
<b>8</b>	6,85	6,10
<b>9</b>	7,24	6,30
<b>10</b>	6,50	6,10
<b>11</b>	6,41	6,60
<b>12</b>	6,53	6,30
<b>13</b>	7,10	6,80
<b>14</b>	7,21	6,85
<b>15</b>	7,25	6,75
<b>16</b>	7,15	6,80

**Fuente:** *Elaboración propia, (2022).*

Durante las 16 semanas los niveles de pH en el estanque de truchas se mantuvieron en un valor promedio de 6,8 llegando a un máximo de 7,2. Los niveles de pH registrados en el sistema de raíz flotante fue 6,5 en promedio, un pH mínimo de 6,10 y un nivel máximo de 6,85.



**Figura 62.** Promedio de niveles de pH

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**g. Oxígeno disuelto (mg/l)**

**Tabla 17.**

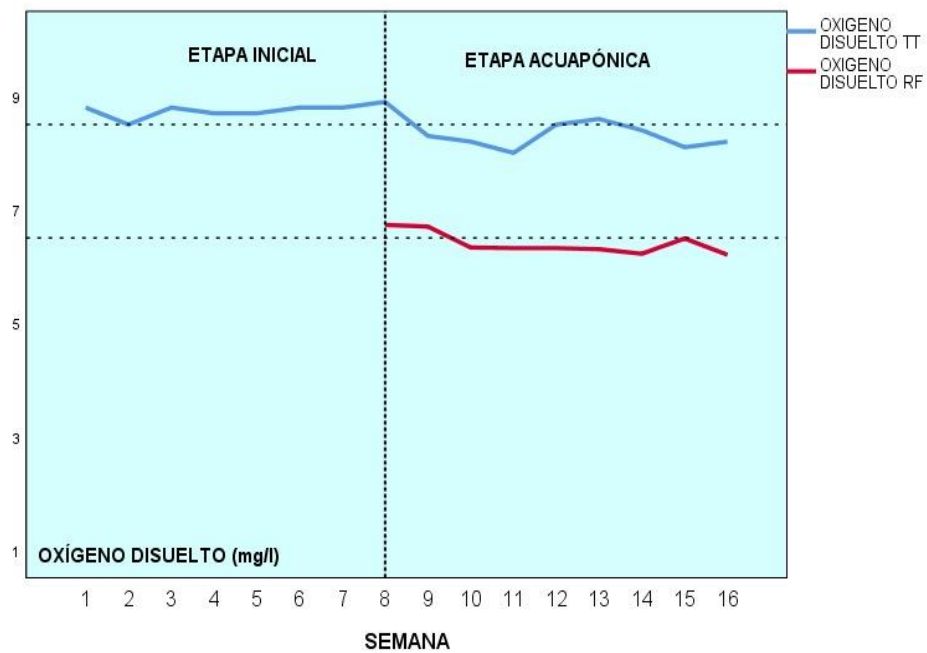
*Niveles de oxígeno disuelto en los efluentes del sistema (ml/l).*

<b>SEMANA</b>	<b>TANQUE DE TRUCHAS</b>	<b>RAIZ FLOTANTE</b>
<b>1</b>	8,80	
<b>2</b>	8,50	
<b>3</b>	8,80	
<b>4</b>	8,70	
<b>5</b>	8,70	
<b>6</b>	8,80	
<b>7</b>	8,80	
<b>8</b>	8,90	6,73
<b>9</b>	8,30	6,71
<b>10</b>	8,20	6,33
<b>11</b>	8,00	6,32
<b>12</b>	8,50	6,32
<b>13</b>	8,60	6,30
<b>14</b>	8,40	6,22
<b>15</b>	8,10	6,49
<b>16</b>	8,20	6,20

*Fuente: Elaboración propia, (2022)*

Los niveles de oxígeno disuelto promedio registrados en el tanque de truchas alcanzaron los 8,5 mg/l, teniendo un máximo 8,80 mg/l y un mínimo y de 8,10 mg/l, durante las 16 semanas en promedio. En el sistema de raíz flotante los niveles de oxígeno fueron de 6,4 mg/l

en promedio con un mínimo registrado de 6,20 mg/l y máximo de 6,73 mg/l en promedio.



**Figura 63.** Promedio de niveles de oxígeno disuelto  
Fuente: Elaboración propia, (2022).

#### 4.1.4. Objetivo específico 3

Comparar la producción de la lechuga (*Lactuca sativa*), de un sistema acuapónico frente al cultivo convencional, en función a sus características físicas y composición proximal.

**Tabla 18.**

*Comparación de la producción de lechuga (Lactuca sativa).*

	<b>Parámetros</b>	<b>Lechuga acuapónica</b>	<b>Lechuga convencional</b>
<b>Características físicas</b>	Número de hojas	14,00 u	11,00 u
	Largo de hoja	25,30 cm	15,70 cm
	Ancho de hoja	15,42 cm	12,61 cm
	Peso fresco (hoja+ raíz)	315,00 g	112,2 g
	Peso fresco (hoja)	275 g	100 g
	<b>Composición proximal</b>	Humedad	94,72 %
Cenizas		1,06 %	1,50 %
Proteínas totales		1,57 %	1,32 %
Lípidos totales		0,20 %	0,22 %
Carbohidratos totales		2,46 %	2,44 %

*Fuente: Elaboración propia, (2022).*

La tabla 18 muestra las características evaluadas en ambos cultivos de lechuga, se muestra una comparación entre el tamaño de hoja de las lechugas producidas bajo los 2 métodos de cultivo. Respecto a las lechugas producida en acuaponía registró un número de hojas de 14,00 a diferencia de la lechuga convencional con 11,00 de hojas en promedio, el largo de hoja de la lechuga acuapónica fue de 25,30 cm y de 15,70 cm para la lechuga convencional, el ancho de

hoja de la lechuga acuapónica fue de 15,42 cm y 12,61 cm para la lechuga convencional; el peso promedio de la lechuga acuapónica fue de 315 g y la lechuga convencional registro un peso promedio de 112,2 g (ver anexo 4).

Al finalizar el estudio, la cosecha de lechuga acuapónica obtuvo una producción con un peso promedio de 315 g equivalente a una ganancia de peso fresco de 4,98 g/d, mientras que la producción de lechugas cultivadas convencionalmente obtuvo 5,61 kg con un peso promedio de 112 g con una ganancia de peso fresco de 1,76 g al día; la tasa de sobrevivencia de ambas fue de 100% luego de 67 días de cultivo.

Por otro lado, el análisis proximal fue realizado tomando 6 muestras aleatorias en ambos cultivos, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de tecnología de la escuela profesional ingeniería pesquera, los resultados indican que la lechuga acuapónica presenta niveles de humedad al 94,72%, cenizas 1,06 %; proteínas totales 1,57 %; lípidos totales 0,20 % y carbohidratos totales 2,46, en relación a la composición proximal de la lechuga convencional se obtuvo: humedad al 95,1%; cenizas al 0,8 %; proteínas totales de

1,5%; lípidos totales de 0,23% y carbohidratos totales al 2,37 % (Ver anexo 5 y 6).

#### **4.1.5. Hipótesis general**

El sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*) es eficiente frente al cultivo convencional en Ollaraya, región Puno.

#### **Contraste para la longitud de lechuga**

El estadístico es la prueba T para muestras independientes, consiste en realizar una comparación de los promedios (medias) del peso y longitud obtenida en ambos cultivos (lechuga acuapónica y convencional). La eficiencia del sistema es determinada en función a las características físicas (peso y longitud) de la lechuga.

El contraste de hipótesis se realiza teniendo en cuenta el nivel de significancia de la prueba y la región de aceptación del valor T calculado respecto al T tabular obtenido en la tabla T de student, tomando en cuenta los grados de libertad.

- Si la sig. (bilateral)  $< 0,05$  y  $T_c > T_t$  existe diferencia significativa entre la longitud promedio de la lechuga acuapónica y convencional

$\alpha = 5\%$ ,

$T_{tab} = 1,9845$  con 98 grados de libertad

**Tabla 19.**

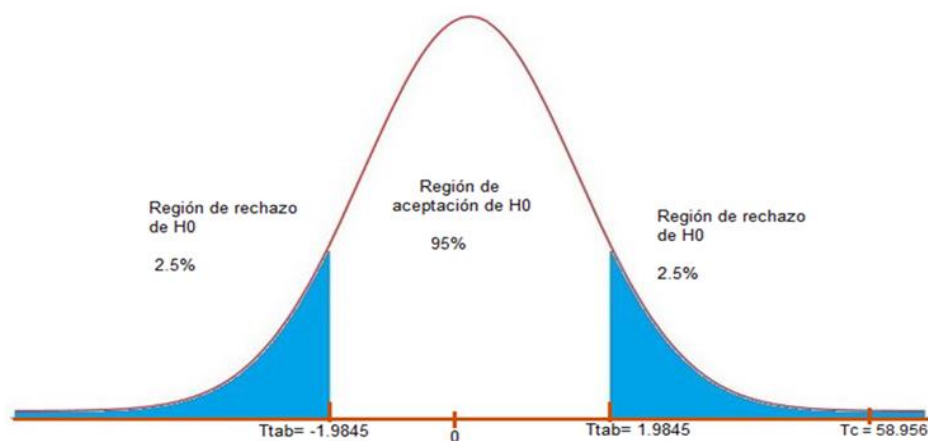
*Comparación de medias para determinar la eficiencia en longitud de lechuga acuapónica y convencional*

<b>Prueba de muestras independientes</b>										
	Se asumen varianzas iguales	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	tc	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
<b>LONGITUD (cm)</b>		0,60	0,43	<b>58,95</b>	98	<b>0,000</b>	9,6000	0,1628	9,2768	9,9231

Fuente: *Elaboración propia, (2022).*

**Decisión:**

Dado que  $0,00 < 0,05$  y  $58,95 > 1,9845$  existe diferencia significativa entre la longitud promedio de la lechuga acuapónica y convencional.



**Figura 64.** Región de aceptación de la hipótesis de comparación de la longitud de lechuga.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### Contraste de peso de lechuga

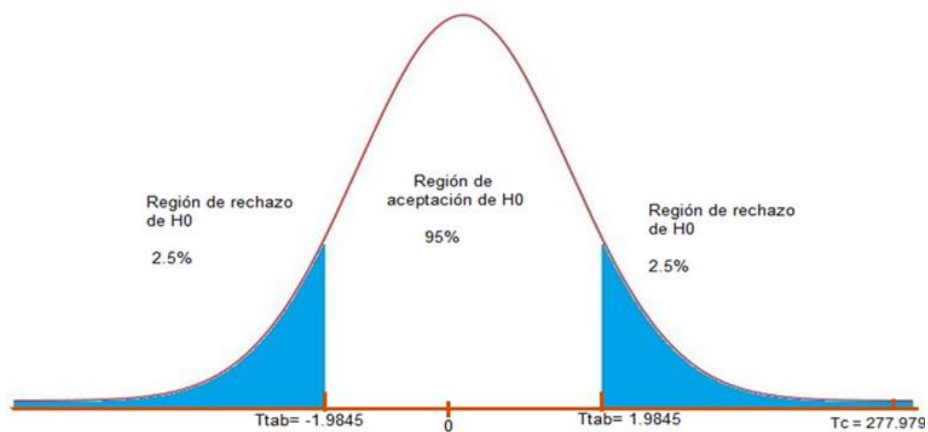
**Tabla 20.**

Comparación de medias para determinar la eficiencia en peso fresco de lechuga

<b>Prueba de muestras independientes</b>										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
<b>PESO FRESCO (g)</b>	<b>Se asumen varianzas iguales</b>	4,779	0,031	<b>277,97</b>	98	<b>0,00</b>	202,80	0,729	201,35	204,24

Fuente: Elaboración propia, (2022).

Dado que  $0,00 < 0,05$  y  $277,97 > 1,9845$  existe diferencia significativa entre los pesos promedios de la lechuga acuapónica y convencional.



**Figura 65.** Región de aceptación de la hipótesis de comparación del peso de lechuga.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### Conclusión

Se concluye que existe diferencia significativa entre la longitud y peso promedio obtenido de la lechuga acuapónica y convencional, asimismo se obtuvo una diferencia de 202,8 g y 9,6 cm en favor de la lechuga acuapónica, siendo la lechuga acuapónica con mayor ganancia de longitud y peso como se observa en la tabla en relación a 67 días para ambos cultivos.

#### 4.1.6. Hipótesis específica

Existe diferencia entre la producción de la lechuga (*Lactuca sativa*) de un sistema acuapónico frente al cultivo convencional en función a sus características físicas y composición proximal en ollaraya, región Puno.

#### Estadístico de prueba

El estadístico de prueba empleado es la prueba T para muestras independientes, consiste en realizar una comparación de los promedios (medias) de la producción obtenida en ambos cultivos (lechuga acuapónica y convencional). La eficiencia del sistema es determinada en función a las características número de hojas, longitud (cm), ancho de hoja (cm) y peso fresco (g).

El contraste de hipótesis se realiza teniendo en cuenta el nivel de significancia de la prueba y la región de aceptación del valor T calculado respecto al T tabular obtenido en la tabla T de student tomando en cuenta los grados de libertad.

- Si la sig. (bilateral) < 0,05 y  $T_c > T_t$ , existe diferencia significativa entre las características físicas y composición proximal de la lechuga acuapónica y convencional.

$\alpha = 5\%$ ,  $T_{tab} = 1,98$  con 98 grados de libertad.

**Tabla 21.** Comparación de medias entre la producción de la lechuga de un sistema acuapónico y la de un cultivo convencional.

		Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas				prueba t para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
									Inferior	Superior	
NUMERO DE HOJAS	Se asumen varianzas iguales	2,68	0,10	23,47	98	0,000	3,0000	0,1277	2,7464	3,2535	
LONGITUD (cm)	Se asumen varianzas iguales	0,60	0,39	<b>58,95</b>	98	<b>0,000</b>	9,6	0,1628	9,2768	9,9231	
ANCHO DE HOJA (cm)	Se asumen varianzas iguales	1,05	0,30	37,43	98	0,000	2,8100	0,0750	2,6610	2,9589	
PESO FRESCO (g)	Se asumen varianzas iguales	2,779	0,631	<b>277,98</b>	98	<b>0,000</b>	202,8	0,72955	201,35	204,24	

**Fuente:** Elaboración propia, (2022).

### Decisión

Dado que el nivel de significancia obtenido para número de hojas = 0,00; longitud (cm) = 0,00; ancho de hoja (cm) = 0,00 y peso

fresco (g) = 0,00 son menores que el nivel de significancia de investigación = 0,05 y los valores de t calculado para número de hojas = 23,479; longitud (cm) = 58,956; ancho de hoja (cm) = 37,434 y peso fresco (g) = 277,98 son mayores que el valor de T tabular igual a 1,9845; existe diferencia significativa entre las características físicas de la producción de lechuga acuapónica y convencional.

### **Conclusión**

Dado que los niveles de significancia de las características físicas (número de hojas, longitud, ancho de hoja, peso fresco) son menores que 0,05; se concluye que existe diferencia entre la producción de la lechuga de un sistema acuapónico usando agua del lago Titicaca y la de un cultivo convencional en función a sus características físicas; las diferencias obtenidas favorecen a las lechugas producidas en el sistema acuapónico.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente informe de investigación para determinar la eficiencia de un sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). Fue evaluada en función a las tasas de sobrevivencia, crecimiento, ganancia de peso y parámetros físicos químicos que favorecieron al sistema al igual que los resultados obtenidos en el estudio realizado por Carrión y Córdoba (2020), donde nos dice que determinaron la eficiencia de los efluentes de (*Oreochromis niloticus*) tilapia, en relación al crecimiento y producción de la lechuga (*Lactuca sativa*), que a la vez se adaptó con facilidad al sistema.

La tasa de crecimiento de la lechuga acuapónica fue de 2,41 y 1,47 para lechuga convencional, y respecto al incremento en tamaño, se obtuvo una tasa de 1,61 para lechuga acuapónica y 1,26 para lechuga convencional. El contraste de hipótesis demuestra una diferencia significativa entre los promedios obtenidos, evidenciando mejores resultados la lechuga cultivada en acuaponía, que a su vez refleja la capacidad de absorber los nutrientes del efluente de truchas. Estos resultados son similares a los obtenidos por Meza (2018), quien

compara como componentes la altura de planta en 4 técnicas de cultivo, siendo las lechugas cultivadas en raíz flotante con una altura promedio de 31,8 cm, superando la lechuga convencional con 16,91 cm, sin embargo, las que predominan son las lechugas cultivadas en NFT y Grava. Asimismo se relacionan con los obtenidos por Zavala (2018), quien comparo el cultivo de forraje verde de cebada en cultivo acuapónico e hidropónico obteniendo resultados superiores en el sistema acuapónico con un rendimiento de 21,50 kg/m<sup>2</sup>, en altura de planta 19,60 cm, diámetro de tallo 1,38 mm, en ancho de hoja 5,17 mm y el largo de la raíz fue 11,35 cm, mientras que en el sistema hidropónico los resultados fueron de 20,89 kg/m<sup>2</sup>, para altura de planta 18,30 cm, diámetro de tallo 1,16 mm, en ancho de hoja 5,08 mm en largo de la raíz 1175 cm.

Como primer objetivo específico se buscó implementar un sistema acuapónico de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa*) usando agua del lago Titicaca. Lo antes mencionado fue implementado en el distrito de ollaraya, que se acondicionó favorablemente siguiendo lineamientos de (Colagrosso, 2014), (Somerville et al., 2022), evaluando se llega a la conclusión que si es posible la implementación en zonas rurales a pequeña escala y a la vez sostenible porque al implementar este sistema se

ahorra el recurso hídrico. Según Vargas (2017), explica que el agua no se explota normalmente como en la agricultura tradicional. Así mismo en su trabajo de investigación explica que los sistemas de recirculación acuapónicos se encuentran dentro de los rangos aceptables tanto para la calidad de los efluentes de los estanques y para producir peces además de reducir la demanda del agua.

Con respecto a los componentes bióticos de nuestro sistema acuapónico como primer paso fue germinar las semillas y siembra de truchas; una vez las plantas presenten 3 a 4 hojas se realiza el trasplante al sistema acuapónico. De acuerdo con el estudio de Valdez et al., (2017), nos describe actividades similares a la investigación realizada, donde las actividades que hicieron en dicho trabajo de investigación fueron, como primer punto la germinación de doce variedades de chiles nativos, después de eso seleccionaron plantas de chiles nativos y tilapia (*Oreochromis niloticus*) que fueron pesadas y medidas antes de colocar al sistema acuapónico, a la vez evaluar sobrevivencia de las plantas y peces. También, el estudio de Escobar (2003), que realizó el trasplante cuando las plantas tenían dos a tres hojas verdaderas, describiendo además que durante las últimas semanas crecen las hojas ya formadas.

El segundo objetivo específico fue evaluar los parámetros físico químicos del sistema acuapónico de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) usando agua del lago Titicaca, como primer parámetro evaluado tenemos la temperatura; las muestras realizadas en el tanque de truchas registraron 14,80°C como temperatura promedio y 16,20°C en sistema de raíz flotante, en el estudio realizado de Chamorro et al., (2012), la unidad de cultivo registró valores que oscilaron entre los 15 y 18,1°C; con un valor promedio de  $16,6 \pm 0,78$  °C. esto indicaría que obtuvimos buena temperatura según el manual práctico para el cultivo de trucha arco iris, que indica que el rango óptimo para el adecuado crecimiento y desarrollo de esta especie es de 13 a 18°C, los valores registrados en este sistema se encontraron dentro de los rangos adecuados y recomendados también por Blanco (1984).

Respecto al oxígeno disuelto, los niveles registrados en el tanque de trucha fueron de 8,50 mg/l en promedio. Los niveles registrados en este sistema difieren de los registrados en el sistema de Chamorro et al., (2012) donde se registró un valor mínimo de 5,3 mg/l y un máximo de 5,9 mg/l, así como un nivel de oxígeno disuelto promedio de  $5,947 \pm 7,36$  mg/l durante el periodo experimental; Sin embargo, coinciden con lo establecido por el manual práctico para el

cultivo de trucha arcoíris el cual indica que el rango para el adecuado crecimiento y desarrollo de esta especie es de 7,5 a 12 mg/l siendo el óptimo a 8,52 mg/l, los valores registrados en este sistema se encontraron también dentro de los rangos recomendados por Arregui (2013), quien establece un rango óptimo de 8 a 12 mg/l de oxígeno disuelto en la crianza de truchas, indica también que conviene mantenerlo en niveles superiores, ya que no sólo ha de permitir la supervivencia de los peces sino un buen índice de conversión del alimento, Nelson (2008) sostiene que en acuaponía trabajado con tilapia los niveles adecuados de OD están entre 4 y 8 mg/l, y que los niveles debajo de 4 mg/l causan estrés a la vida acuática y niveles menores de 1,0 mg/l son letales, quiere decir que la trucha necesita mayor oxígeno. Por otro lado, el OD está en función de la temperatura del agua y tienen una relación única que puede afectar la producción de alimentos en acuaponía (FAO, 2014) . En este caso el nivel de oxígeno disuelto fue adecuado a las temperaturas registradas.

Se evaluaron también los niveles de pH en el tanque de truchas registrando una concentración promedio de 6,8. Y en el sistema de raíz flotante oscila en 6,5 promedio. Estos valores son similares al estudio de Rakocy et al., (2006) para las plantas el rango aceptable para los sistemas hidropónicos es de 6,5 a 7.

Los niveles de conductividad eléctrica registrados en el tanque de truchas fueron de 1 dS/m y en el sistema de raíz flotante 1,35 dS/m en promedio; Valor que se encuentran dentro del establecido en la norma de calidad ECA para agua que establece una concentración menor a 2,00 dS/m para vegetales; a la vez coincide del rango establecido por Nelson (2008) que recomienda para cultivo de lechugas un rango de 1,30 hasta 1,80 dS/m.

Los valores de nitrito registrados en el tanque de cultivo de trucha mostraron un incremento a lo largo del periodo de la primera etapa, el sistema inició registrando 0,22 mg/l en promedio, la concentración máxima fue de 0,80 mg/l respectivamente, en el sistema de raíz flotante se registró una concentración promedio de 0,38 mg/l. En los sistemas cerrados de recirculación de agua ocurre que al inicio posee una cantidad casi nula de nitrito y con el paso del tiempo se va acumulando hasta que nuevamente comienza a disminuir; estas variaciones se producen con el desarrollo de bacterias nitrificantes encargados de las conversiones de los compuestos nitrogenados generados en el sistema según Nelson y Pade (2008) que a la vez hallan valores de nitrito de 0,20 mg/l mínimo y 0,40 mg/l máximo con un promedio de 0,25.

De acuerdo a los valores de nitrato, muestran variaciones a lo largo del tiempo iniciando en el tanque de truchas que fue de hasta 28 mg/l, en el sistema de raíz flotante la concentración promedio registrada durante las 9 semanas fue de 80 mg/l. A su vez, Delgado (2020) en su investigación menciona variaciones a lo largo del tiempo indicando valores de 43,33 a 55 mg/l, estos resultados explicarían que no tuvo buena concentración por el descenso nitrato que es ideal para la adaptación y crecimiento de la lechuga.

El tercer objetivo fue comparar la producción de la lechuga (*Lactuca sativa*) de un sistema acuapónico usando agua del lago Titicaca y de un cultivo convencional en función a sus características físicas y composición proximal, respecto a la producción de lechuga, ambos cultivos (acuapónico y convencional) tuvieron una tasa de sobrevivencia del 100%, el número de hojas promedio fue de 14 en lechugas acuapónicas y de 11 en lechugas convencionales, el largo de hoja promedio fue de 25,30cm para lechuga acuapónica y de 15,70 cm en lechuga convencional, el peso promedio de las lechugas cultivadas en acuaponía fue de 315 g y de 112 g para lechuga convencional considerando (raíz + hoja), los promedios obtenidos para la lechuga acuapónica son mejores que los obtenidos en el cultivo convencional en relación al tiempo, 67 días de cultivo,

Estos resultados se relacionan con los obtenidos en la investigación de Meza (2018), donde se compara 4 sistemas de cultivo, y se determinó que la raíz flotante es la segunda mejor técnica de cultivo, reportando una media de 29,28 cm a los 65 días de cultivo.

Por otro lado, con respecto al rendimiento del sistema acuapónico de este estudio, se obtuvo una buena producción de lechuga tanto en peso y talla. Del mismo modo en el estudio de Moreno & Zafra (2014), nos describe que obtuvo mejor crecimiento, peso y longitud de hoja para la producción de (*Lactuca sativa*) lechuga mediante su sistema acuapónico.

Con relación a la composición de nuestro sistema acuapónico, en tal sentido el sistema estuvo compuesto de un cultivo de truchas y un cultivo hidropónico (raíz flotante), bajo un sistema de recirculación cerrado, quiere decir en un mismo sistema ambos cultivos. Al igual que Alcarráz (2018), nos describe que su sistema acuapónico se compone tanto de la hidroponía y la acuicultura donde los desechos producidos por los peces se convierten en nutrientes óptimos para el crecimiento de las hortalizas, permitiendo la interacción entre peces y plantas en un mismo sistema generando un beneficio mutuo.

El sistema acuapónico se basa en sustituir el sistema tradicional de la agricultura empleándose como una solución para

enfrentar los problemas de contaminación, debido al uso excesivo de agroquímicos que ocasionan diversos problemas ambientales además de afectar la salud de la población que es consumidora de estos productos alimenticios. Al igual que la investigación de Ramírez et al., (2008), en la cual consideran que alimentar a la población en la actualidad de manera segura se ha convertido en un desafío. Sustituir el sistema tradicional de la agricultura por el de la acuaponía ha surgido como una solución potencial para enfrentar los problemas candentes de la seguridad alimentaria.

## CONCLUSIONES

El sistema acuapónico de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) mostró ser eficiente porque se fijó en la capacidad del aprovechamiento del efluente reflejado en la producción de truchas para la producción de lechugas: tamaño, peso y tasas de crecimiento en contraste con el cultivo convencional.

La implementación de un sistema acuapónico de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) utilizando agua del lago Titicaca fue favorable para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) por mantener las condiciones necesarias a la vez fue accesible contando con materiales y equipos de fácil acceso y manejo.

Los parámetros físico químicos del sistema acuapónico de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) resultaron favorables con un pH de 6,8 con temperatura de 14,8 °C; CE 1,4 dS/m; oxígeno disuelto que fluctúa en 5,51; amonio 0,22 ml/l; nitritos de 0,22 ml/l; nitratos 75 ml/l en promedio, que están dentro del rango establecido para un sistema acuapónico de truchas y lechugas.

La producción de la lechuga (*Lactuca sativa*) de un sistema acuapónico frente al cultivo convencional, si existe diferencia en función a sus características físicas y composición proximal, siendo la lechuga acuapónica la de mejor producción en relación a peso, tamaño y valor nutricional.

## **RECOMENDACIONES**

Desarrollar otros estudios y evaluaciones en acuaponía, estableciendo rentabilidad de producciones óptimas de peces y hortalizas en un ambiente controlado, considerando su adaptación al clima de la región.

Emplear diferentes tipos de especies vegetales para evaluar su capacidad de adaptación y desarrollo, conociendo aquellas que sean una alternativa viable, que permitan aprovechar los potenciales beneficios del sistema acuapónico y que sean menos demandantes en nutrientes, logrando reducir los costos de operación y uso de fertilizantes.

Evaluar las variaciones de parámetros de crecimiento en las diferentes clases de lechuga y en otras especies de hortalizas de rápido crecimiento con la finalidad de establecer sus mejores metodologías de cultivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arregui, L. (2013). El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).  
Mdrid: Fundacion observatorio español de acuicultura. Obtenido de:  
[https://www.observatorioacuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/cuaderno\\_trucha\\_digital\\_web.pdf](https://www.observatorioacuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/cuaderno_trucha_digital_web.pdf)
- Alcarraz Quispe, E. W., Tapia Figueras, M. L., Bustamante Pezoa, A., Tapia Laguna, O., Wacyk Gonzales, J., & Escalona Contreras, V. H. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa L.*) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima- Peru.
- Alpizar, L. (2004). Hidroponía cultivo sin tierra. . Costa Rica.
- Álzate, J., & Loaisa, L. (2008). Monografía del cultivo de la lechuga. Colinagro.
- Andrés Montoyo, M. M. (2012). Proceso de produccion. grado de ingenieria informatica.
- Arroyo, M. M. (2018). Comportamiento de tres densidades de cultivo hidroponicocon lechuga (*Lactuca sativa L.*) en un sistema. Echarati-Cusco.

- Ávila, E. (2015). Manual de lechuga. Bogotá: camara de comercio de Bogotá.
- Barrera, D., & Arias, K. (2018). Propuesta para la estandarización de procesos productivos en la empresa acuaponia casansare S.A.S. Bogotá.
- Blanco, C. (1984). La trucha arcoíris, cría industrial. Ediciones Mundi-Prensa.
- Bofish, B. (2019). Desarrollo de Acuaponia en Mexico. Mexico.
- Brinker A, K. W. (2005). Optimised effluent treatment by stabilised trout faeces. aquaculture.
- Calderon, D., Olivas , J., Garcia, L., Rios, S., & Hernandez, J. (2019). Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua. Investigacion y ciencia.
- Calo, P., & Pablo, C. (2011). Introducción a la acuaponia.
- Camacho, M. M. (2000). Guía para el cultivo de la trucha. SEMARNAP. Dirección general de acuacultura. México.
- Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponía, Centro Nacional de Desarrollo Acuícola CENADAC), Dirección de acuicultura. Ministerio de Agroindustria. Argentina: Presidencia de la nación.

- Carrion Lopez , C., & Cordova Lopez, C. (2020). Sistema acuapónico a partir de efluentes de (*Oreochromis niloticus*) Tilapia para cultivo de (*Lactuca Sativa*) Lechuga en la región Lambayeque. Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo.
- Catata, L. (2015). Comparativo de variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.), y soluciones nutritivas en cultivo hidropónico, en sistema NTF tipo piramidal, bajo condiciones de invernadero en Arequipa. Arequipa.
- Chamorro, E., Morillo, M., Burbano , E., Casanova , D., Mejia, E., Pecillo , E., . . . Sanchez, A. (2012). Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema de recirculación acuícola. Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuicola, (6). Obtenido de <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1515>
- Chura, R., & Mollocondo , H. (2009). Desarrollo de la acuicultura en el Lago Titicaca. Revista Aquatic. Obtenido de <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=226>
- Colagrosso, A. (2014). Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónica pequeña escala.

Colorado, M., & Ospina, M. (2019). *“La Acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz.”* Centro de Biotecnología Agropecuaria, Cundimarca SENA.

Corpoica. (2013). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el Oriente Antioqueño. Obtenido de <http://www.siembra.gov.co/siembra/GestionInnovacion2.aspx>

Culcos, G. S., & Tucto, C. R. (2018). Produccion de *Oreochromis niloticus* var. Chitralada “Tilapia gris” y *Lactuca sativa* “Lechuga” En un sistema acuapónico con diferentes densidades. Lambayeque- Perú.

Davinson, J. G. (2014). Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems.

Dejoux, C., & Iltis, A. (1991). El lago Titicaca, síntesis de conocimiento. La Paz.

Dekovic, N. N. (2015). Estudio Técnico – Financiero de la puesta en marcha de un cultivo integrado de trucha Arcoíris y lechugas hidropónicas en la Región de Tarapacá. Tarapaca, Chile.

Delgado, N. (2020). Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*) en acuaponía. Lima, Perú.

Duran, P. (2019). Sistema acuaponico para la produccion tecnificada peces y hortalizas en huertas urbanas. Ocaña. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/2242/1/32040.pdf>

Escobar, H. (2003). Análisis de costos para hortalizas ecológicas. Bogotá:

Luis Roca. Obtenido de:

[https://books.google.com.pe/books?id=qhdUHbkgI5AC&pg=PA15&dq=cultivo+de+lechuga&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi29s\\_E3LbiAhUSvFkKHs4ChDoAQgvMAI#v=onepage&q=cultivo%20de%20lechuga&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=qhdUHbkgI5AC&pg=PA15&dq=cultivo+de+lechuga&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi29s_E3LbiAhUSvFkKHs4ChDoAQgvMAI#v=onepage&q=cultivo%20de%20lechuga&f=false)

FAO, (2002). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentacion. Revisión del estado mundial de la acuicultura.

FAO, (2008). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación .El estado mundial de la pesca y la acuicultura.

FAO, (2014). Manual practico para el cultivo de la trucha arcoiris. Guatemala.

FAO, (2019). Cada gota cuenta. Food and agriculture organization of the united nations. Obtenido de: <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1113809/>

FAO, (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura.

FONDEPES, (2004). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales, Fondo nacional de desarrollo pesquero. Lima-Perú, Impreso por EINS PERU S.A.C.

Fuentes, F. I. (2015). Estudio de factibilidad técnico-económica de la implementación de un sistema de cultivo acuapónico de pequeña y mediana escala en la Octava Región. La paz. Obtenido de <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/900>

Garcia, A. &. (2003). manual de buenas practicas de produccion acuicola. trucha para la inocuidad alimentaria.

Garcia, U., Leon, C., Hernandez, F., & Chavez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponia (Vol. 9). Colima, México. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83709105>

Giaconi, V. (1985). Cultivo de hortalizas. Santiago de Chile: Catalogo de la biblioteca.

- Guillaume, T., Kaushis, S., & Bergot, P. (2004). Nutricion y alimentacion de peces y crustáceos. Madrid- España: Mundi Prensa.
- Guo, W. A. (2017). Effects of reclaimed water irrigation and nitrogen fertilization on the chemical properties and microbial community of soil. *Journal of Integrative Agriculture*.
- Guzman, R. L., & Moreno, L. A. (2005). La acuaponia una disciplina interdisciplinar generadora de conocimiento en la escuela normal superior . Gacheta.
- Herguedas, A. I. (2012). Biomasa combustibles y sostenibilidad. Madrid: ITAGRA. CTISBN: 978-84-931891.
- Hernández, D. (2018). Generalidades y conceptos sistemas de tratamiento de efluentes. Guatemala.
- Hernández, I. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca Sativa*). Tesis (Magíster en Ingeniería Automatización Industrial), Bogota.
- Hernández, R., Fernandez, C., Baptista, M. d., Mendez, S., & Mendoza, C. (2014). Metodología de la investigación. México: McGRAW-HILL.

Obtenido de: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Iturbide Dormon, K. (2008). Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Llaguento, G. S. (2018). Produccion de (*Oreochromis niloticus* var). Chitralada "Tilapia gris" y (*Lactuca sativa*) "Lechuga" En un sistema acuaponicocon diferentes densidades de peces. Tesis de Pregrado, Lambayeque.

Lopez, J., Haro, R., Gallegos, D., Moreno, C., Lopez, P., & Salvador, A. (2019). Cultivo acuaponico guia especializada. Malaga, España.

Lopez, M. (2013). Revista de divulgacion cientifica de nutricion ambiental y seguridad alimentaria (Vol. 2). Guanahuato. Obtenido de: <https://www3.ugto.mx/redicinaysa/images/Revistas2013/redicinaysa-sept-oct-2013-universidad-guanajuato.pdf#page=16>

Mantilla, B. (2004). Acuicultura cultivo de truchas en jaulas flotantes. Lima: Editor general E.R.L.

Maso, M. (2021). Sistemas de acuaponía artesanal y eficiencia productiva de trucha en sistemas de recirculación en tanques circulares de

geomembrana. Corporacion Universitaria Lasallista, Caldas-Antioquia. Obtenido de:  
<http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2956/1/20131338%20.pdf>

Mateus, J. (2011). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. .

Mendoza. (2017). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) hidropónica en sistema recirculante “NTF” tipo piramidal con 3 niveles de aireación. Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de san Agustín, Arequipa.

Mesa, L. (2021). Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS. Facultad de ciencias agropecuarias y administrativas Zootecnia, Antioquia - Colombia.

Meza, M. (2018). Comportamiento de tres técnicas de cultivo hidropónico con lechuga (*Lactuca sativa*) en un sistema acuapónico. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Milian, E. (21 de setiembre de 2017). Técnicas de Investigación Documental. Guatemala.

Milka, M. (2018). Comportamiento de tres técnicas de cultivo hidropónico con lechuga (*Lactuca sativa*) en un sistema acuapónico. Cusco:

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, facultad de ciencias agrarias, escuela profesional de agronomía tropical, Cusco. La Convención-Echarate- Cusco: (título profesional de ingeniero Agrónomo).

Morales, A. (2019). Diseño, Construcción y evaluación de un sistema acuapónico prototipo aplicada a tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*). Lima.

Moreno, S., & Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Trujillo.

Nelson, R. (2008). Aquaponics food production. Raising fish and profit. . Virgen Islands.

Nelson, R., & Pade, J. (2008). Aquaponic food product - Raising fish and plants for food and profit. USA.

OPSD. (2011). Guía para la producción, alimentación y sanidad de truchas en jaulas flotantes. Lima-Perú: Biblioteca nacional de Perú n° 2010-14623.

Oscó, R. S. (2013). Factibilidad técnico-económica de un sistema acuapónico para trucha arcoiris y hortalizas en el municipio de Guaqui. La Paz- Bolivia.

Osorio, J., & Lobo, M. (1983). Manual de asistencia técnica de hortalizas .  
Colombia.

Ovando, M. (2017). Evaluación de un sistema acuapónico de cama con  
sustrato sólido. Unicach. Obtenido de  
[https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/1311/1/ICA%  
20631.585%](https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/1311/1/ICA%20631.585%20)

Patillo. (2017). An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic  
Components.

Piasentini, M., Silveria, L., & Villanueva, C. (2015). Estudio comparativo de  
la composición química de la (*Lactuca sativa L.*) Obtenida por cultivo  
convencional, cultivo hidropónico y cultivo orgánico. Cordoba.

Pinzon, M. D. (2019). Sistema acuaponico para la produccion de tecnificada  
peces y hortalizas en huertas urbanas. Ocaña, Colombia.

Rafiee, G., & Saad, C. (2005). Nutrient cycle and sludge production during  
different stages of red tilapia (*Oreochromis sp.*) growth in a  
recirculating aquaculture system.

Rakocy, J., Bailey, D., Shultz, C., & Danaher, J. (1997). Evaluation of a  
commercial scale aquaponic unit for the production of tilapia and  
lettuce. Virgin Islands. Obtenido de

*<https://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA9/PDF's/RakocyAquaponicSystem.pdf>*

Rakocy, J., Masser, M., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. USA: Regional aquaculture centre.

Rakocy, J.E, Masser, M.P y Losordo, T.M. (2006). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. Southern Regional Aquaculture Centre (Publication No. 454 ed.). USA: Southern Regional Aquaculture Centre.

Ramirez, D., Sabogal, D., Jimenez, P., & Hurtado, H. (2008). La Acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible (Vol. 4). doi:*<https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>*

Resh, H. (1995). Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods. Wood bridge Press Publishing Company. Santa Bárbara.

Rojas Togra, M. (2019). Evaluacion del desarrollo de la lechuga (*Lactuca sativa*) en un sistema hidropónico recirculante aplicado dos soluciones nutritivas en base a microorganismos beneficios MOBS en el cartón. Ecuador.

Saavedra , G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay , P., & Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga. Santiago, Chile: Boletín INIA.

Sagacarpa, M. (2007). Hidroponia rústica, ganadería, desarrollo, rural, pesca y alimentación. Obtenido de: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Hidro>.

Sanz, F. (2009). Nutrición y alimentación en piscicultura. Madrid-España: Discript pre impresión, S. L.

Simon, M., & Wuillan, E. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” con efluentes de cultivo de tilapia. .

Segura Giraldo, S., & Balois Gonzalez, R. (2017). Producción acuaponica de (*Lactuca sativa*) “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris” (*línea chitralada*), en laboratorio. Nuevo Chimbote, Perú.

Solórzano, L. a. (2000). Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus in natural waters.

Somerville, C. (2014). Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming. Italia. Obtenido de URL:<https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>

- Somerville, C., mo, Coin, M., Edoardo, P., Stankus, A., & Lobatelli, A. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala , cultivo integral de peces y plantas. Roma. URL:<https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Tamayo, M., & Tamayo, Y. (2004). El proceso de la investigación científica. Mexico: Limusa.
- Teichert-Coddington D, R. D. (1999). Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural Engineering* .
- Torres, M. P. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín*.
- Trejo. (2013). Modelado y diseño de un sistema termico para cultivo de tilapia.
- Trejo, L. (2015). Crecimiento de tilapia gris (*Oreochromis niloticus* L.) Y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un sistema acuapónico abierto.
- Trelles, E. W. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Trujillo. Perú.
- Tutillo, M. (2021). Análisis de factibilidad para la implementación de un sistema de producción acuapónico de lechuga y tilapia en la ciudad de santo domingo. Ecuador.

Valdez, J., Guerra, D., Díaz, M., & López, J. (2017). Evaluación de la producción de materia vegetal y animal, en un sistema acuapónico con variedades de frijol y tilapia nilótica. Universidad de San Carlos de Guatemala dirección general de investigación programa universitario de investigación en recursos naturales y ambiente, Guatemala.

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. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/269/1/Vargas%20Rinc%C3%B3n%2C%20Lizeth%20Carolina%20-%202015.pdf>

Vargas, Z. R. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. Educación, 155-165. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>

Vega, F., Zúñiga, L., Basto, M., Nolasco, H., Jaime, B., & Galindo, J. (2018). Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala alternativa alimentaria para familias rurales y Urbanas de México. Mexico.

Villagra, F. I. (2015). "Estudio de factibilidad técnico-económica de la implementación de un sistema de cultivo acuapónico de pequeña y mediana escala en la octava región". Universidad Católica De La Santísima Concepción, La Paz.

Villenas, J. (2010). Criterios técnicos y sanitarios para la crianza de truchas en jaulas flotantes. Puno- Perú: Imprenta Arcoiris E.I.R.L. 29-56 pág.

Westrs, H. (1995). Feed and feeding strategies to reduce aquaculture waste. Aquaculture Bioengineering Corporation, aquaculture engineering and waste management: improsedding from the aquaculture expo VIII and aquaculture in the mit-atlantic conference. Washington.

wikipedia, c. d. (4 de junio de 2021). Distrito de Ollaraya. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre.: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Distrito\\_de\\_Ollaraya&oldid=136080968](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Distrito_de_Ollaraya&oldid=136080968)

Zavala, E. (2018). Evaluacio del sistema acuaponico de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y la hidroponia de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare*). Abancay- Apurimac.

## **ANEXOS**

### Anexo 1. Matriz de consistencia

#### EFICIENCIA DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) PARA EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN OLLARAYA, REGIÓN PUNO

OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION	
<b>Interrogante general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>				
¿Será eficiente un sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) frente a un cultivo convencional para el cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) Ollaraya, región Puno?	Determinar la eficiencia de un sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) frente al cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) Ollaraya, región Puno	El sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) y lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) es eficiente frente al cultivo convencional en Ollaraya, región Puno.	<b>INDEPENDIENTE</b>  <b>Sistema acuapónico con efluentes de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)</b>	Parámetros físicos  Parámetros químicos  Características físicas (trucha)	Temperatura Conductividad eléctrica Amonio Nitratos Nitritos Oxígeno disuelto pH peso talla	°C dS/cm ml/l ml/l ml/l mg/l Grado de acidez g cm
<b>Interrogantes específicas</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específica</b>				
¿Será factible implementar un sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) para el cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) usando agua del lago Titicaca?	Implementar un sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) para el cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ), usando agua del lago Titicaca.			Características físicas (lechuga hidropónica)	Cantidad de plantas Análisis de tasa de crecimiento Tasa específica de crecimiento	Unidad/m2 cm/día %/día
¿Cuáles serán los parámetros físico-químicos del sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) para el cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )?	Evaluar los parámetros físico-químicos del sistema acuapónico de trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) para el cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ).		<b>DEPENDIENTE</b>	Calidad física Calidad química	Cantidad de producción Análisis proximal	Unidad/volumen %proteína, % humedad, % Carbohidratos, % ceniza, % grasa
¿Como será la producción de la lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ), de un sistema acuapónico y de un cultivo convencional, en función a sus características físicas y composición proximal?	Comparar la producción de la lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ), de un sistema acuapónico y de un cultivo convencional, en función a sus características físicas y composición proximal.	Existe diferencia entre la producción de la lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) de un sistema acuapónico frente al cultivo convencional en función a sus características físicas y composición proximal en ollaraya, región Puno.		Características físicas (lechuga tradicional)	Cantidad de plantas Análisis de tasa de crecimiento Tasa específica de crecimiento Factor de crecimiento porcentual	Unidad/m2 cm/día %/día Incremento de peso

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Anexo 2. Biometría en relación al peso de truchas**

<b>N</b>	<b>PESO DE LA TRUCHA ARCOIRIS</b>										
	BIOMETRIA INICIAL	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	GANANCIA PESO (gr)
<b>1</b>	10	15	39	71	102	132	153	173	197	195	185
<b>2</b>	12	15	40	72	100	132	151	173	197	195	183
<b>3</b>	10	15	40	73	99	131	152	173	196	200	190
<b>4</b>	12	16	38	71	99	131	153	172	197	195	183
<b>5</b>	10	15	41	72	100	129	152	171	196	201	191
<b>6</b>	11	15	40	71	101	132	152	172	195	200	189
<b>7</b>	11	15	40	73	100	131	151	171	196	199	188
<b>8</b>	12	15	38	71	102	132	152	173	195	195	183
<b>9</b>	12	14	38	70	100	132	150	172	196	197	185
<b>10</b>	12	15	41	72	99	129	151	173	196	199	187
<b>11</b>	12	16	40	73	100	131	152	172	196	200	188
<b>12</b>	12	16	38	70	100	132	151	172	197	198	186
<b>13</b>	12	14	38	72	102	131	152	171	196	201	189
<b>14</b>	10	15	41	71	101	130	152	172	196	196	186
<b>15</b>	10	14	38	72	102	130	153	173	195	202	192
<b>16</b>	12	15	39	73	100	130	151	173	197	196	184
<b>17</b>	11	16	40	72	99	131	152	172	196	202	191
<b>18</b>	10	14	41	73	99	132	153	173	196	198	188
<b>19</b>	12	15	39	73	101	129	152	172	195	196	184
<b>20</b>	12	15	39	72	102	132	152	171	197	196	184
<b>21</b>	10	16	38	73	100	131	153	172	195	198	188
<b>22</b>	10	15	38	72	102	129	151	171	195	198	188
<b>23</b>	10	14	40	71	100	132	153	172	196	195	185
<b>24</b>	10	15	38	73	101	131	152	173	196	196	186
<b>25</b>	12	15	41	72	99	131	152	172	197	200	188

**Fuente:** Elaboración propia (2022).

**Anexo 3. Biometría en relación a longitud de la trucha**

<b>LONGITUD INICIAL (cm)</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B8</b>	<b>B9</b>	<b>INCREMENTO EN CRECIMIENTO (g)</b>	<b>TASA ESPECIFICA DE CRECIMIENTO (cm/día)</b>
10	11	13	16	18	18	19	22	22,5	23	12	0,10
10	11	13	15	18	18	21	21	21,5	22	12	0,10
11	11	12	16	18	19	20	21	21,5	22,5	11,5	0,10
11	10	11	15	16	18	19	22	22,5	24	13	0,11
11	11	14	16	17	20	19	22	22,5	24	13	0,11
10	10	13	16	17	20	20	22	22,5	23	13	0,11
10	10	12	15	16	19	20	22	22,5	22,5	12,5	0,10
10	10	12	14	16	20	21	22	22,5	22	12	0,10
11	11	11	15	16	18	20	22	22,5	24	13	0,11
11	11	11	14	18	19	20	22	22,5	24	13	0,11
11	11	11	15	18	20	19	23	23,5	23	12	0,10
10	11	11	14	18	19	20	23	23,5	24	14	0,12
9	10	11	15	17	20	19	22	22,5	23	14	0,12
9	10	11	16	18	20	21	22	22,5	23,5	12,5	0,10
10	11	11	16	18	18	20	23	23,5	23	12	0,10
9	10	11	16	16	18	18	22	22,5	23	14	0,12
11	10	10	14	18	20	18	22	22,5	22,5	11,5	0,10
10	11	10	14	16	18	18	22	22,5	23	13	0,11
10	10	10	16	17	18	21	23	23,5	24	14	0,12
10	10	11	15	17	19	21	22	22,5	23	13	0,11
11	10	10	15	16	20	20	22	22,5	24	13	0,11
9	10	10	14	16	20	19	21	21,5	23,8	14,8	0,12
11	11	11	14	16	18	20	23	23,5	23	12	0,10
9	11	11	15	18	19	20	22	22,5	24	15	0,13
10	11	10	16	17	19	20	22	22,5	23,2	13,2	0,11

**Fuente:** Elaboración propia (2022).

**Anexo 4. Promedio de biometría de lechugas**

<b>SEMANA</b>	<b>LARGO DE HOJA (cm)</b>		<b>PESO FRESCO (hoja + raíz) g</b>		<b>NUMERO DE HOJAS</b>		<b>ANCHO DE LA HOJA (g)</b>	
	ACUAPÓNICA	CONVENCIÓNAL	ACUAPÓNICA	CONVENCIÓNAL	ACUAPÓNICA	CONVENCIÓNAL	ACUAPÓNICA	CONVENCIÓNAL
<b>1</b>	7,9	7,9	0,98	0,98	4	4	1,8	1,9
<b>2</b>	9,8	9,1	4,01	----	5	4	2,5	2,6
<b>3</b>	13,9	10,0	15,5	----	7	5	4,3	4,5
<b>4</b>	16,1	12,2	40,3	----	9	7	6,3	6
<b>5</b>	19,0	13,5	100,0	----	11	8	8,4	7
<b>6</b>	23,0	14	180,0	----	12	9	10,4	8
<b>7</b>	23,5	14,5	230,5	----	13	10	14,1	9
<b>8</b>	24,2	15,3	280,1	----	14	11	15,2	11,5
<b>9</b>	25,3	15,7	315,00	112,2	14	11	15,4	12

Fuente: Elaboración propia (2022).

**Anexo 5. Certificado de análisis proximal de la lechuga convencional**



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA  
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA PESQUERA




**CERTIFICADO DE ANALISIS  
ANALISIS PROXIMAL**

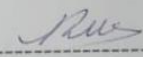
SOLICITANTE : Magaly Shirley Paye Sonco  
MUESTRA: Lechuga convencional ( *Lactuca sativa* )  
FECHA DEL ANÁLISIS: 04 de julio del 2022  
METODOLOGÍA : Según Normas de la AOAC 2017

PARAMETROS	RESULTADOS
Humedad %	95,10
Cenizas %	0,80
Proteínas Totales%	1,50
Lípidos Totales %	0,23
Carbohidratos Totales %	2,37

Nota : Resultados promedio de análisis por triplicado.

  
Lic.Quim.Reyna Calcino Angulo  
Encargada del Laboratorio



  
Ms. Leonardo Sherón Ramírez  
Jefe del Laboratorio

**Anexo 6. Certificado de análisis proximal de la lechuga acuapónica**



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA  
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA PESQUERA




**CERTIFICADO DE ANALISIS  
ANALISIS PROXIMAL**

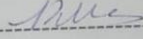
SOLICITANTE : Magaly Shirly Paye Sonco  
MUESTRA: Lechuga acuapónica (*Lactuca sativa* )  
FECHA DEL ANÁLISIS: 04 de julio del 2022  
METODOLOGÍA : Según Normas de la AOAC 2017

PARAMETROS	RESULTADOS
Humedad %	94,72
Cenizas %	1,06
Proteínas Totales%	1,56
Lípidos Totales %	0,20
Carbohidratos Totales %	2,46

Nota : Resultados promedio de análisis por triplicado.

  
Lic.Quim.Reyna Calcino Angulo  
Encargada del Laboratorio



  
Leonardo Sherón Ramírez  
Jefe del Laboratorio

## Anexo 7. Tabla T- Student

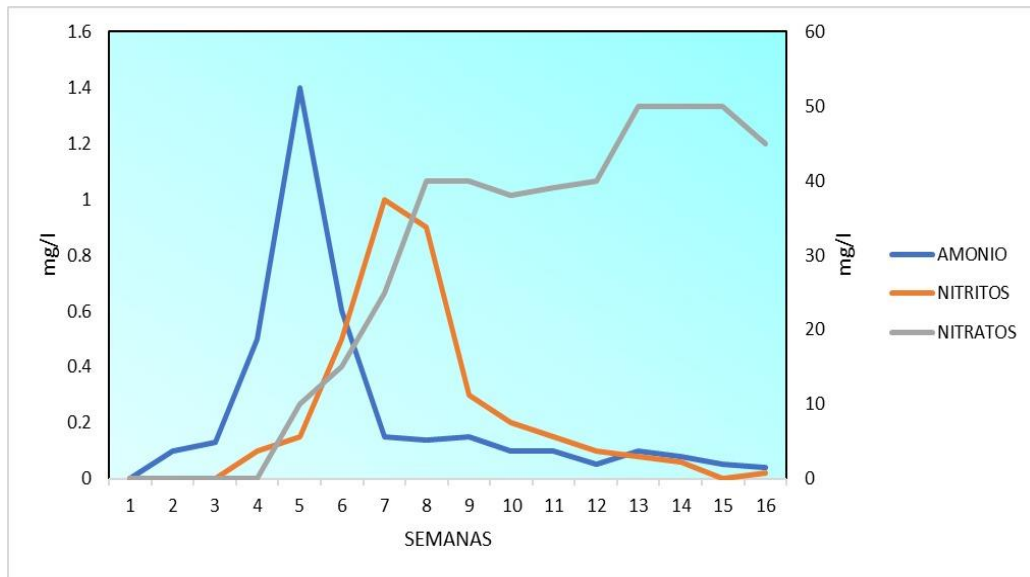
Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

**Anexo 8.** Gráfico de las curvas de concentración de Amonio, nitrito y nitrato



**Fuente:** Elaboración propia, (2022).

**Anexo 9.** Evidencia fotográfica del proyecto



**Operación del análisis proximal en laboratorio**



***Diseño del sistema acuapónico***



***Proceso de inicio para empezar con la biometría de truchas***



***Medición de temperatura del agua.***



***Medición de oxígeno disuelto.***



**Medición de TDS.**



**Kit para evaluar la calidad del agua.**



**Materiales y equipos ocupados**



*Evaluación de temperatura y pH en el biofiltro.*



*Cosecha de lechuga acuapónica.*



*Cosecha de lechuga convencional.*

**Anexo 10. Costos de inversión equipamiento y materiales**

<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO (S/)</b>	<b>PRECIO SUB TOTAL</b>
<i>Tanque de agua 1000 litros</i>	1	S/ 180,00	S/ 180,00
<i>Cilindro de plástico de 200 litros</i>	1	S/ 120,00	S/ 120,00
<i>Canastillas para hidroponía</i>	50	S/ 1,00	S/ 50,00
<i>Piedra de aire</i>	15	S/ 5,00	S/ 75,00
<i>Madera (8x1cm)</i>	1	S/ 50,00	S/ 50,00
<i>Cinta de teflón (plomero)</i>	5	S/ 3,00	S/ 15,00
<i>Abrazadera de cables</i>	5	S/ 6,00	S/ 30,00
<i>Plástico para hidroponía</i>	1		S/ 25,00
<i>Variedad de tubos de agua</i>			S/ 80,00
<i>Bomba de agua sumergible (2800 litros/hora)</i>	1	S/ 350,00	S/ 350,00
<i>Mini compresora de aire (80 W.) con 6 salidas</i>	1	S/ 280,00	S/ 280,00
<i>Termómetro</i>	1	S/ 32,00	S/ 32,00
<i>Kit calidad del agua</i>	1	S/ 250,00	S/ 250,00
<i>Ictiometro</i>	1	S/ 100,00	S/ 100,00
<i>Balanza digital (kg)</i>	1	S/ 110,00	S/ 110,00
<i>Termohigrómetro digital HTC-2</i>	1	S/ 22,00	S/ 22,00
<i>Medidor 4 en 1 de TDS, EC, PH, Y TEM.</i>	1	S/ 210,00	S/ 210,00
<i>Medidor de oxígeno disuelto</i>	1	S/ 1 350,00	S/ 1 350,00
<b>TOTAL</b>			<b>S/ 3 339,00</b>

**Anexo 11. Diferencia entre incremento de crecimiento**

**Descriptivos**

**PESO\_FRESCO (HOJA+RAIZ)**

LECHUGA	N	Media	Desv, Desviación	Desv, Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
ACUAPONICA	25	315,0000	3,02765	0,60553	313,7502	316,2498	310,00	321,00
CONVENCIONAL	25	112,2000	4,24264	0,84853	110,4487	113,9513	105,00	120,00
Total	50	213,6000	102,49440	14,49490	184,4714	242,7286	105,00	321,00

**Descriptivos**

**LONGITUD\_HOJA**

LECHUGA ACUAPONICA	N	Media	Desv, Desviación	Desv, Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
LECHUGA CONVENCIONAL	25	25,3200	0,90000	0,18000	24,9485	25,6915	23,00	27,00
LECHUGA CONVENCIONAL	25	15,7200	0,73711	0,14742	15,4157	16,0243	15,00	17,00
Total	50	20,5200	4,91661	0,69531	19,1227	21,9173	15,00	27,00