

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera

**TECNOLOGÍA ACUAPÓNICA PARA LA PRODUCCIÓN
DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*) Y LECHUGA
(*Lactuca sativa sp*) CON EL SISTEMA DFT (DEEP
FLOW TECHNIQUE) EN EL DISTRITO
DE CURIBAYA PROVINCIA DE
CANDARAVE – TACNA**

TESIS

Presentada por:

Bach. NELLY PERCCA POMA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO PESQUERO

TACNA – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera

“ TECNOLOGÍA ACUAPÓNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa sp*) CON EL SISTEMA DFT (DEEP FLOW TECHNIQUE) EN EL DISTRITO DE CURIBAYA PROVINCIA DE CANDARAVE – TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el 09 de abril del 2025, estando el jurado calificador integrado por:

Presidente


.....
Dr. Luis Antonio Espinoza Ramos

Secretario


.....
Dr. Luis Alberto Rivera Chipana

Vocal


.....
Ph.D. Héctor Rodríguez Papuico

Asesor


.....
Ph.D. Héctor Rodríguez Papuico

Co-asesor


.....
Dr. Renzo Gerardo Pepe Victoriano

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Héctor Rodríguez Papuico, en mi condición de ASESOR, Acreditado con Resolución de Facultad N° 3506-2016-FCAG, del trabajo de tesis Titulada “TECNOLOGÍA ACUAPÓNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa sp*) CON EL SISTEMA DFT (DEEP FLOW TECHNIQUE) EN EL DISTRITO DE CURIBAYA PROVINCIA DE CANDARAVE – TACNA”, presentada por la Bach. PERCCA POMA, Nelly. Para optar el título profesional de INGENIERO PESQUERO.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evacuación y análisis realizada a través del software de similitud textual TURNITIN cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 7%. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis anunciado líneas arriba, lo cual está expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de INGENIERO PESQUERO, según corresponda para su publicación en el Repositorio Institucional.

Tacna, 21 de abril 2025



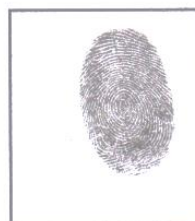
FIRMA DEL ASESOR

Ph. D. Héctor Rodríguez Papuico
DNI: 08107556



FIRMA DEL AUTOR

Nelly Percca Poma
DNI: 47068102



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Ruperto y Maruja quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Elizabeth, Jhon, Erasmo y Agustina por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos (as), por apoyarme cuando más las necesite, por extender su mano en momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Héctor Rodríguez Papuico, mi asesor de tesis, por su invaluable guía, paciencia y apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

Agradezco también al Dr. Renzo Gerardo Pepe Victoriano, mi co-asesor, por su confianza y disposición en el perfeccionamiento de este estudio. A mi colega y amigo Edwin Chura Quenta, le agradezco por su apoyo incondicional y su valioso soporte técnico durante el proceso experimental.

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG), agradezco el financiamiento a través de Canon, Sobre canon y Regalías Mineras que permitió la ejecución de este proyecto, el cual es de gran importancia e innovación en la acuicultura mediante la tecnología acuapónica.

Mis agradecimientos se extienden al Dr. Luis Antonio Espinoza Ramos por sus acertados consejos y a toda la plana docente de la Escuela de Ingeniería Pesquera de la UNJBG, quienes me brindaron los conocimientos y orientación necesarios para concluir esta etapa de mi vida y para mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.1. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos	5
1.2. Justificación de la investigación	5
1.3. Objetivos e hipótesis de la investigación	6
1.2.3. Objetivo general.....	6
1.2.4. Objetivos específicos	7
1.2.5. Hipótesis	7
1.4. Variables.....	7
1.2.6. Indicadores de los variables.....	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	9
2.1 Antecedentes	9
2.2. Bases teóricas	13
2.2.1. La acuaponía	13
2.2.2. Trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	24
2.2.3. Procesos de nitrificación y desnitrificación	32
2.3. Definición de términos básicos	34
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1. Lugar y tiempo de investigación	36
3.1.1. Condiciones climáticas	37
3.2. Tipo y nivel de investigación	37
3.3. Diseño de investigación/estadístico.....	38
3.4. Método de la investigación.....	38
3.4.1. Materiales de estudio	38

3.4.2.	Características de los ejemplares	41
3.4.3.	Material biológico	43
3.4.4.	Procedimiento	45
3.4.5.	Tratamientos	48
3.4.6.	Manejo del sistema acuapónico	49
3.5.	Diseño del sistema acuapónico de la investigación.....	59
3.5.1.	Croquis de ubicación de los tratamientos	59
3.6.	Sistema de producción acuapónica.....	62
3.6.1.	Acondicionamiento de los elementos esenciales en un sistema acuapónico tipo DFT “Deep Flow Technique”	62
3.6.2.	Sistema DFT “Deep Flow Technique”	63
3.6.3.	Operaciones llevadas a cabo en los peces.....	64
3.6.4.	Operaciones llevadas a cabo en la lechuga	67
3.6.5.	Operaciones en relación a los parámetros en el sistema acuapónico....	71
3.6.6.	Operaciones de mantenimiento.....	75
3.7.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	76
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES		77
4.1.	Talla y peso de los peces.	77
4.2.	Tasa de alimentación y Factor de conversión alimenticia (FCA).	81
4.3.	Mortalidad y Supervivencia de peces.....	84
4.4.	Crecimiento de las lechugas	85
4.5.	Calidad de agua	89
4.5.1.	Temperatura (°C)	91
4.5.2.	Oxígeno disuelto (O.D.).....	93
4.5.3.	pH.....	94
4.5.4.	Amonio (NH ₄).....	96
4.5.5.	Nitritos NO ₂	98
4.5.6.	Nitratos (NO ₃)	100
CONCLUSIONES		103
RECOMENTACIONES		104
REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS		105
ANEXOS:		114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos generales de tolerancia de calidad de agua para peces (aguas cálidas y aguas frías); plantas y bacterias nitrificantes.....	15
Tabla 2. Niveles de temperatura, nitrógeno, oxígeno disuelto y requerimiento de proteína para las especies acuáticos usadas en acuaponía.....	20
Tabla 3. Condiciones para la producción de plantas usadas en acuaponía.....	22
Tabla 4. Calidad del agua.....	29
Tabla 5. Parámetros físicos y químicos para cultivo de trucha arcoíris.....	30
Tabla 6. Distribución de unidades de muestra (plántulas y peces) en el sistema acuapónico.....	49
Tabla 7. Tasa de alimentación para la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	51
Tabla 8. Comportamiento productivo en la producción de trucha, en talla (cm) final en estudio.....	77
Tabla 9. Comportamiento productivo en la producción de trucha, en peso (g) final y biomasa (kg) en estudio.....	78
Tabla 10. Datos de alimento suministrado (g) diarias y total y factor de conversión alimenticia (FCA).....	82
Tabla 11. Mortalidad y supervivencia de trucha arcoíris en los sistemas acuapónicos.	84
Tabla 12. Registro de resultados del crecimiento de las lechugas observados en los 3 tratamientos.....	86
Tabla 13. Resultado de parámetros físico - químicos: T°C, O.D., PH, NH ₃ , NO ₂ y NO ₃ del agua	90

Tabla 14. Análisis de Varianza (ANOVA) simple para el crecimiento de la longitud (talla) de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) en los sistemas acuapónicos	119
Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) simple del crecimiento del peso de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) en los sistemas acuapónicos.....	119
Tabla 16. Análisis de Varianza (ANOVA) simple de la tasa de Alimentación de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) en los sistemas acuapónicos.....	119
Tabla 17. Análisis de Varianza (ANOVA) simple de la mortalidad de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) en los sistemas acuapónicos.....	120
Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) simple del crecimiento de las lechugas (<i>Lactuca sativa</i> sp).....	120
Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de la temperatura en el sistema de tecnología acuapónica.....	120
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento del oxígeno disuelto del sistema de tecnología acuapónica.....	120
Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de parámetro pH del sistema de tecnología acuapónica.....	121
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) simple, del comportamiento de parámetro Amonio (NH ₄) en el sistema de tecnología acuapónica.....	121
Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de los nitritos (NO ₂) en el sistema de tecnología acuapónica.....	121
Tabla 24. Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de los nitratos (NO ₃) en el sistema de tecnología acuapónica.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hidroponía la A y Acuicultura la B.	14
Figura 2. Esquema de desbalances en el sistema acuapónico.	23
Figura 3. Procesos de nitrificación y desnitrificación	33
Figura 4. Ubicación del centro donde se realizó la investigación	36
Figura 5. Peces para el experimento, trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	40
Figura 6. Plantones de lechuga para el experimento.	41
Figura 7. Medición de pesos y tallas de la muestra, trucha arco iris.	42
Figura 8. Medición de pesos y tallas o longitud para de lechugas.	43
Figura 9. Incorporación de la sección hidropónica.....	46
Figura 10. Croquis de ubicación de los tratamientos.....	60
Figura 11. Construcción del sistema acuapónico (armado de invernadero, instalación de los tanques, filtros biológicos, camas hidropónicas y tuberías)	63
Figura 12. Calcal para capturar los peces.	66
Figura 13. Toma de datos de los peces (peso y talla)	66
Figura 14. Trasplantes de las lechugas al sistema acuapónico.	68
Figura 15. Toma de datos de las plantas (peso y talla inicial) y trasplante	69
Figura 16. Verificación del crecimiento de las raíces de las lechugas.	70
Figura 17. Verificación y monitoreo de las hojas de las lechugas.....	70
Figura 18. Medición de la temperatura del sistema acuapónico.....	73
Figura 19. Medición del oxígeno del sistema acuapónico.....	73
Figura 20. Medición del pH del sistema acuapónico.....	74

Figura 21. Medición del (NH_4/NH_3 , NO_2 y NO_3) del sistema acuapónico y registro ...	74
Figura 22. Curva de crecimiento exponencial de talla de la trucha arco iris.....	80
Figura 23. Curva de crecimiento exponencial en peso promedio de la trucha arco iris.	80
Figura 24. Curva de los resultados en relacionados al índice de crecimiento de las plantas observados en el experimento	87
Figura 25. Comportamiento de la temperatura observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.	91
Figura 26. Comportamiento del Oxígeno Disuelto observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.....	93
Figura 27. Comportamiento del pH observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.	95
Figura 28. Comportamiento del amonio (NH_4) observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.	97
Figura 29. Comportamiento de los nitritos (NO_2), observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.....	99
Figura 30. Comportamiento de los nitratos (NO_3), observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.....	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia y Operacionalización de Variables	115
Anexo 2. Planimetría general y detalles del sistema acuapónica	116
Anexo 3. Registro de datos del peso y talla de los peces	117
Anexo 4. Registro de datos del crecimiento de las plantas.	118
Anexo 5. Análisis de varianza (ANOVA) simple de los variables del proyecto de investigación.....	119
Anexo 6. Evidencia fotográfica del proyecto	122
Anexo 7. Ficha de control de mortalidad de los peces	123
Anexo 8. Ficha de control diario de los parámetros fisicoquímicos T°, O.D y PH del agua	124
Anexo 9. Ficha de control de los parámetros químicos: NH ₃ , NO ₂ , y NO ₃	125
Anexo 10. Ficha de control de alimentación (g.) diaria de los peces	126
Anexo 11. Ficha de control de crecimiento de las plantas	127
Anexo 12. Ficha de control de peso y talla de los peces	128

RESUMEN

La finalidad del presente trabajo de investigación, fue desarrollar la tecnología acuapónica para la producción de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa sp*) con sistemas DFT (Deep Flow Technique), en el Distrito de Curibaya, Provincia de Candarave – Tacna. Se trabajó durante 130 días, empleando 342 ejemplares de trucha con un peso promedio de 40g/pez; se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos: T1 (3%), T2 (2,2%) y T3 (1,5%) de tasa de alimentación, cada tratamiento con 3 repeticiones. Se emplearon 540 plántulas de lechuga, distribuidas en 60 plantas por cama hidropónica DFT.

Se hicieron registros semanales a las concentraciones de amonio, nitritos, nitratos, pH, y diariamente a la temperatura y oxígeno disuelto. Para el análisis se aplicó el estadístico ANOVA y prueba Tukey, encontrando diferencia significativa entre tratamientos. El T3 mostró ser el más eficiente, con el mayor rendimiento de trucha (4,7 kg/m³), menor tasa de mortalidad (4,4%) de peces. Además, el T3 presentó la tasa de conversión alimenticia más baja (1:1), indicando mejor eficiencia alimentaria. El crecimiento de las plantas fue mayor en T3 con mayor productividad de lechugas (95%), atribuido a la proliferación de bacterias. El tratamiento T1 tuvo resultados aceptables, mientras que T2 mostró un rendimiento inferior.

Palabras clave: Acuaponía, truchas, lechugas, sistemas dft (técnica de flujo profundo), tasa de alimentación, análisis estadístico, rendimiento de trucha, tasa de mortalidad.

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop an aquaponic technology for the production of trout (*Oncorhynchus mykiss*) and lettuce (*Lactuca sativa* sp.) using DFT (Deep Flow Technique) systems in the Curibaya District, Candarave Province, Tacna. The study was carried out for 130 days, using 342 trout specimens with an average weight of 40 g/fish. A completely randomized design (CRD) was applied, with three treatments: T1 (3%), T2 (2,2%), and T3 (1,5%) feeding rate, with three replicates for each treatment. A total of 540 lettuce seedlings were used, distributed in 60 plants per DFT hydroponic bed.

Weekly records were made of ammonium, nitrite, nitrate, and pH concentrations, and daily records of temperature and dissolved oxygen were recorded. ANOVA and Tukey's test were used for analysis, finding significant differences between treatments. Treatment T3 proved to be the most efficient, with the highest trout yield (4,7 kg/m³) and the lowest fish mortality rate (4,4%). Furthermore, T3 had the lowest feed conversion ratio (1:1), indicating greater feed efficiency. Plant growth was greatest in T3, with higher lettuce productivity (95%), attributed to bacterial proliferation. Treatment T1 had acceptable results, while T2 showed lower yields.

Keywords: Aquaponics, trout, lettuce, deep flow technique (DFT) systems, feed rate, statistical analysis, trout yield, mortality rate.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con cifras de la FAO (2014), la producción pesquera en todo el mundo ha experimentado un crecimiento constante durante las últimas cinco décadas. De hecho, el suministro de pescado ha alcanzado una tasa promedio anual del 3,2%, superando el crecimiento poblacional global, que se sitúa en un 1,6%. En este contexto, la acuicultura se posiciona como uno de los sectores de producción de alimentos de más rápido crecimiento y, por ende, estratégico.

Para abordar estos desequilibrios, la nueva Política Pesquera Común (PPC), que entró en vigor el 01 de enero de 2014, busca asegurar que tanto la pesca como la acuicultura sean sostenibles en términos medioambientales, económicos y sociales, garantizando así una fuente de alimentación fiable para la población (FAO, 2014).

Durante el período 2014/2016, el número total de personas que padecen hambre en el Perú alcanzó un promedio de 2,5 millones. Esta cifra representa un incremento de 100 mil personas en comparación con la medición anterior, correspondiente al período 2013/2015 (FAO, 2017).

La acuaponía se presenta como un sistema sostenible de producción de alimentos al combinar las técnicas de cultivo acuícola con la agricultura hidropónica. Esta integración no solo aumenta la diversidad de especies, sino también la cantidad de

producción en un mismo cultivo. Además, su impacto socioeconómico es positivo, ya que al reutilizar las aguas residuales acuícolas genera un subproducto valioso para el cultivo hidropónico de hortalizas. De este modo, contribuye a la seguridad alimentaria, impulsa el desarrollo económico y promueve la conservación de recursos como el agua, el suelo y la energía. (FAO, 2014)

Este proyecto tuvo como objetivo desarrollar una alternativa para la producción de alimentos orgánicos, específicamente trucha y lechuga, optimizando el uso del recurso hídrico a través de dos tipos de cultivos: acuicultura e hidroponía a pequeña escala. Su propósito fue evaluar e implementar la tecnología acuapónica para la producción de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa sp*), utilizando el sistema DFT (Deep Flow Technique) en el distrito de Curibaya, provincia de Candarave, Tacna.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción del problema

La actividad (agrícola y acuícola) significa, para la región Tacna, la base de un sector socioeconómico muy importante. La región abarca espacios territoriales de costa y sierra, sectores considerados como la principal fuente de alimento sano y económico, en beneficio de la población urbana y rural, en general de aquellas familias con menores ingresos y mayores necesidades nutricionales.

Tacna es una región eminentemente árida donde las tierras de cultivo son escasas y que requieren irrigaciones tecnificadas, sufre de escases de agua (recurso hídrico). La población aumenta y, a su vez, también la contaminación y el mal uso de recursos hídricos con el consiguiente incremento en la desnutrición infantil.

Por esta razón, es fundamental desarrollar planes de Seguridad Alimentaria que aseguren una alimentación adecuada para los niños y que fomenten su accesibilidad. Asimismo, es esencial implementar una buena educación y formar a profesionales capacitados para encontrar alternativas que aborden los problemas relacionados con la escasez de agua, el aumento de áreas áridas a causa del cambio climático y la pérdida de recursos autóctonos debido a la introducción de nuevas especies en los cultivos agropecuarios.

La acuaponía se presenta como una solución valiosa ante la escasez de alimentos proteicos de origen acuático y de alimentos energéticos de origen vegetal. En nuestra región de Tacna, enfrentamos desafíos significativos debido a la falta de agua, tanto para la cría de peces como para la agricultura. Sin embargo, esta innovadora biotecnología ofrece una oportunidad para aprovechar las zonas áridas, permitiendo el cultivo de especies que pueden prosperar en condiciones limitadas.

La acuaponía es una fuente de alimentos de alta calidad y una oportunidad para mejorar las condiciones socioeconómicas

La investigación sobre sistemas de producción mixtos, que integran la acuicultura y la hidroponía, es relativamente escasa. Por esta razón, resulta fundamental llevar a cabo estudios que nos ayuden a comprender mejor los aspectos biológicos, ambientales y la gestión de recursos como el agua, los peces y las plantas. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es evaluar la producción de trucha y lechugas en un sistema acuapónico diseñado originalmente para tal fin.

1.1. Formulación del problema

1.1.1. Problema general

¿Es factible desarrollar la tecnología acuapónica para la producción de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa sp*) mediante el sistema DFT (Técnica de Flujo Profundo) en el Distrito de Curibaya, Provincia de Candarave – Tacna?

1.1.2. Problemas específicos

1. ¿Se podrá evaluar los parámetros físico-químicos del agua (amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura y oxígeno).
2. ¿Se podrá evaluar la talla, peso y mortalidad de las truchas y lechugas en crecimiento?
3. ¿Se podrá evaluar la producción total de las truchas y lechugas en el sistema acuapónico?
4. ¿Se podrá evaluar la tasa de alimentación y su factor de conversión alimenticia (FCA)?

1.2. Justificación de la investigación

El presente estudio surge a consecuencia de la necesidad de un cultivo integrado de peces y vegetales, mediante tecnologías de recirculación de agua dulce, orientado a la producción de truchas y lechugas. Esta iniciativa ofrece un doble beneficio, como una alternativa de producción en el sector pesquero y agropecuario de la Región Tacna, con excelentes perspectivas. Sin embargo, es fundamental adaptar y desarrollar tecnologías en esta actividad. Para lograr esto, es necesario realizar investigaciones que identifiquen el sistema más rentable y también utilizando variedades de peces y plantas, adaptables a nuestra región Tacna.

La acuaponía es una tecnología que se presenta como una alternativa sostenible para aumentar la producción de organismos acuáticos, sin requerir un uso significativo de agua y tierras. Este método no solo reduce el

impacto ambiental de la actividad acuícola de manera duradera, sino que también permite la reutilización eficiente del agua en los sistemas acuáticos.

La trucha es una especie de agua dulce que se adapta bien a temperaturas bajas y puede ser criada en sistemas controlados. Por esta razón, se considera una alternativa viable para su inclusión en sistemas acuapónicos. Además, se están realizando investigaciones sobre su cultivo en otros tipos de sistemas, como estanques, tanques de recirculación de agua (SRA) y jaulas.

Esta tecnología representa una valiosa fuente de proteínas, vitaminas y minerales, ya que permite cultivar tanto peces como hortalizas. Es fundamental que la acuaponía se implemente en universidades, instituciones públicas y privadas, municipalidades y zonas altoandinas, con el objetivo de combatir la desnutrición en la región y garantizar así la seguridad alimentaria.

1.3. Objetivos e hipótesis de la investigación

1.3.1. Objetivo general

“Desarrollar la tecnología acuapónica para la producción de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa sp*) con sistema DFT Distrito de Curibaya, - Provincia de Candarave – Tacna”

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros físico-químicos del agua (amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura y oxígeno).
- Evaluar la talla, peso y mortalidad de las truchas y lechugas en crecimiento.
- Evaluar la producción y total de las truchas y lechugas en el sistema acuapónico.
- Evaluar la tasa de alimentación y su factor de conversión alimenticia (FCA).

1.3.3. Hipótesis

Estableciendo una nueva tecnología acuapónica para la producción de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa sp*) con sistema DFT (Deep Flow Technique), se obtendrá un cultivo orgánico saludable, tanto de peces como hortalizas.

1.4. Variables

1.4.1. Indicadores de los variables

1.4.1.1. Variable independiente:

- Acuaponía para la producción de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*lactuca sativa sp*); evaluación de parámetros físico-químicos del agua (amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura, oxígeno), tasa de alimentación y su factor de conversión alimenticia (FCA) para los peces.

1.4.1.2. Variable dependiente:

- Talla (cm)
- Peso (g)
- Mortalidad (%) de los peces y plantas

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

En el presente proyecto utilizamos como referencia la tesis de investigación elaboradas y presentadas que abarcan aspectos teóricos referente al problema del presente estudio.

Según el estudio de Regalado (2013), titulado “Diseño y evaluación de un sistema acuapónico para la producción de animales acuáticos y plantas para consumo humano”. Su objetivo principal fue evaluar la producción de tilapia y albahaca en sistemas acuapónicos en comparación con sistemas de recirculación acuícolas y de producción convencional, abarcando a las siguientes conclusiones:

- a. La producción de tilapia y albahaca en el sistema acuapónico creado, fue similar o mayor a lo reportado en sistemas de recirculación acuícolas y de producción convencional.
- b. El diseño original de sistema acuapónico, mostró ser eficiente desde el punto de vista hidráulico y de gasto energético.
- c. El sistema acuapónico es biológicamente viable para el mantenimiento de organismos acuáticos y plantas, e incluso para la obtención de producción de biomasa para consumo humano.

- d. La producción de biomasa animal y vegetal obtenida en sistemas acuapónicos se ve afectada de acuerdo al tipo de sustrato utilizado en los filtros biológicos.

Por su parte, Cifuentes y Crespo (2008), ejecutaron el trabajo denominado “Evaluación del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa Agustina Xolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu”, con el objetivo principal evaluar el rendimiento por área del cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. utilizando un sistema de cultivo acuapónico de raíz flotante. Al concluir, llegaron a las las siguientes conclusiones:

- a. Se acepta la primera hipótesis de la presente investigación, el análisis estadístico de Chi-cuadrado presentó diferencias significativas, ($P < 0,05$) el cultivo acuapónico evaluado presentó mejor rendimiento en cuanto a peso fresco por m^2 que la misma variedad de lechuga cultivada mediante el método convencional.
- b. Se rechaza la segunda hipótesis de investigación, el análisis estadístico de chi-cuadrado presentó diferencias significativas en cuanto a la evaluación del contenido de calcio y fósforo ($P < 0,05$). Para el contenido de hierro no hubo diferencia significativa ($P > 0,05$); comparado con el contenido nutricional de las lechugas cultivadas mediante el método convencional.
- c. Las lechugas cultivadas por el sistema de acuaponía no presentaron diferencias significativas respecto al color y apariencia física, de las lechugas cultivadas en suelo.

“Según el estudio de Vergaray, (2015) “Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachypomus* “paco” en un sistema acuapónico superintensivo, en el iesppb, 2015”, que tuvo como objetivo general: Evaluar el efecto de dos densidades de siembra, en el comportamiento productivo de *Piaractus brachypomus* “Paco”, en un sistema acuapónico superintensivo. De acuerdo a los resultados obtenidos, concluye en lo siguiente:

- a. El efecto de la densidad de siembra de 50 peces/m³ en el comportamiento productivo de *Piaractus brachypomus* “Paco”, en un sistema acuapónico superintensivo, demostró un rendimiento de 3,54 kg/m³, con una tasa específica de 1,63 y un factor de conversión alimenticia (FCA) de (1,8:1).
- b. El efecto de la densidad de siembra de 75 peces/m³ en el comportamiento productivo de *Piaractus brachypomus* “Paco”, en un sistema acuapónico superintensivo, resultó un rendimiento de 3,70 kg/m³, una tasa específica de 1,37 y un factor de conversión alimenticia de (FCA) de (2,1:1).
- c. La calidad de agua en el sistema acuapónico superintensivo, se mantuvo ligeramente dentro del rango deseable para la especie.
- d. En la investigación se concluye que el comportamiento productivo de *Piaractus brachypomus* “Paco”, en un sistema acuapónico superintensivo, demostró diferencia significativa entre tratamiento. El tratamiento más productivo fue el T1, porque presentó mejor conversión en relación al T2.

Finalmente, Zavala (2019), realizó el trabajo investigación “Evaluación del sistema acuapónico de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y la hidroponía en la producción de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare*), Abancay – Apurímac – 2018”. El objetivo principal del autor es evaluar el sistema acuapónico de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y el sistema hidropónico en la producción de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare*), la que concluye en lo siguiente:

- a. Se compararon las características morfológicas en sistema acuapónico de trucha y la hidroponía en producción de forraje verde de cebada, el sistema acuapónico tuvo mejores características morfológicas en altura de planta 19,60 cm, diámetro de tallo 1,38 mm y en ancho de hoja 5,17 mm, en sistema hidropónico solo supero en largo de la raíz 11,75 cm.
- b. Se determinó el rendimiento de producción de forraje verde de cebada en ambos sistemas, el resultado obtenido en rendimiento fue mayor en sistema acuapónico 21,50 kg/m², y en el sistema hidropónico 20,89 kg/m²
- c. Al analizar la relación costo-beneficio del sistema acuapónico y el sistema hidropónico, el resultado es mayor con el sistema acuapónico es S/.1,57, mientras que el sistema hidropónico tiene una relación costo-beneficio de S/.1,19. Se debe tener en consideración que por cada nuevo sol invertido en el sistema acuapónico se espera recibir un beneficio de 0,57 soles mientras que en el sistema hidropónico es de 0,19 soles, en la producción de forraje verde de cebada.
- d. El cual quiere decir que por utilizar el sistema acuapónico será mayor en poco más del 30% en relación al sistema hidropónico.

2.2. Bases teóricas

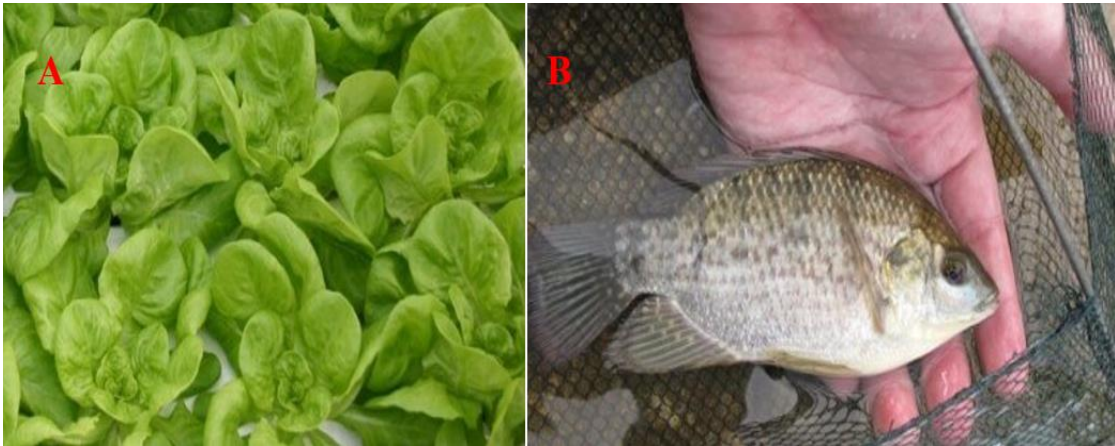
2.2.1. La acuaponía

La acuaponía es la técnica que une a la hidroponía y la acuicultura para la producción conjunta de plantas y peces con fines comerciales, domésticos y ornamentales. Esto se consigue mediante la recirculación continua del agua a través de los dos subsistemas. En un sistema acuapónico, las plantas aprovechan los desechos metabólicos de los peces para crecer, al mismo tiempo que limpiar el agua de estos componentes, para mantener los niveles adecuados para el desarrollo de los peces, gracias a esto el recambio de agua y la contaminación disminuye en más del 80% (Rakocy *et al.*, 2006).

La acuaponía es un sistema de producción cerrado que integra la técnica de la **acuicultura** con la **hidroponía**, es decir, es una combinación de la producción de peces y la producción de hortalizas, sin suelo, por el medio común “agua”. Las plantas y los peces crean una sinergia, ya que los desechos metabólicos de los peces son aprovechados como nutrientes por los vegetales para crecer, mientras que las plantas limpian el agua y eliminan los compuestos tóxicos para los peces (principalmente amonio y nitritos), reduciendo la frecuencia de renovación del agua. Sin embargo, en este sistema también intervienen microorganismos que inciden en los procesos de mineralización y nitrificación; principalmente bacterias nitrificantes. Este sistema de producción intensiva sustentable requiere de condiciones ideales para que exista interacción entre peces, microorganismos y plantas (Gómez *et al.*, 2015).

Figura 1

Hidroponía la A y Acuicultura la B.



Nota: INTAGRI, (2017).

2.2.1.1. Características del sistema acuapónico

A. Calidad de agua

Importancia de la calidad del agua en la producción de acuaponía:

Los cinco (5) principales parámetros que definen la calidad del agua son: temperatura, oxígeno disuelto, pH, compuestos nitrogenados y alcalinidad. Cada uno de estos parámetros físicos y químicos influyen directamente en los tres (3) componentes principales del sistema: peces, plantas y bacterias; motivo por el cual debe alcanzarse una calidad de agua compatible en lo posible, con los rangos de tolerancia específicos en la Tabla 1 (Somerville et al., 2014).

Tabla 1

Rangos generales de tolerancia de calidad de agua para peces (aguas cálidas y aguas frías); plantas y bacterias nitrificantes.

Tipo de Organismo	Temp. (°C)	Ph	NAT (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	OD (mg/l)
Peces de aguas cálidas	22-32	6-8,5	<3	<1	<400	4-6
Peces 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

Nota: Somerville et al., (2014).

Según (INTAGRI, 2017), los parámetros adecuados de la calidad en sistema acuapónico de agua son:

- **Oxígeno:** El primer parámetro a considerar es el oxígeno disuelto, ya que su ausencia puede causar muerte de los peces en pocas horas, disminuir el proceso de nitrificación y provocar asfixia de raíces. En este sentido, es importante tener un nivel de aireación adecuado en el sistema; el nivel adecuado está por encima de 3 mg/L, pero es deseable tener 5mg/L o más.
- **pH:** El pH interviene en la asimilación de nutrientes por parte de la planta y mantiene condiciones óptimas para los peces; el nivel ideal está determinado por el tipo de planta y pez a utilizar. En estos sistemas es muy común que el agua se acidifique, pero el problema de pH bajo no debe ser corregido con

bicarbonato de sodio, porque tiende a acumular sales de sodio que son tóxicos para las plantas.

- **Dureza:** Por último, la dureza ayuda a contrarrestar la acidez de los procesos de nitrificación. Esta se debe balancear para mantener un pH adecuado y evitar estrés en peces y plantas; el nivel adecuado fluctúa entre 60-140 mg/L de CaCO_3 .

2.2.1.2. Componentes de la acuaponía

Según Muñoz, (2012), los elementos esenciales de un sistema acuapónico son:

- a. Un tanque para mantener los peces (u otros organismos acuáticos) fácil de limpiar y accesible para el momento de la cosecha.
- b. Un clarificador para remover las partículas originadas a partir de los desechos de los peces, las algas y la comida no consumida. El clarificador puede ser un tanque de sedimentación o algún tipo de filtro de selección para que las raíces de las plantas se protejan del acúmulo de los desechos orgánicos.
- c. Un biofiltro para convertir el amonio tóxico liberado por los peces en nitrato inofensivo, el cual es un buen alimento para las plantas. Tres cosas son necesarias para la óptima operación de un biofiltro:
 1. **Bacterias nitrificantes**, las cuales se encuentran en los ambientes terrestres y acuáticos.
 2. Un **sustrato** para que las bacterias se adhieran (arena, grava, plásticos, etc.) y
 3. **Oxígeno**.

- d. **Un componente hidropónico.** Éste se basa en camas hidropónicas o camas de crecimiento, donde las plantas flotan en el agua de cultivo, usando como aislamiento una espuma de polietileno. 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.
- e. Un **sumidero y/o tanque de acopio**, donde el agua pueda ser recolectada para que sea direccionada de nuevo hacia el tanque de cultivo de peces.

2.2.1.3. Ventajas y desventajas de los sistemas de recirculación de Acuaponía

Según Muñoz (2012), las ventajas y desventajas de los sistemas de recirculación de Acuaponía son los siguientes:

A. Entre las ventajas se encuentran

- Los sistemas de recirculación acuapónicos son un medio eficaz para reducir y aprovechar los residuos que normalmente son vertidos al ambiente.
- Debido a que las plantas recuperan un porcentaje sustancial de los nutrientes disueltos, la tasa de intercambio de agua se puede disminuir. Esto reduce los costos de operación en los sistemas acuapónicos en los climas áridos y los invernaderos con calefacción donde el agua representa un gasto importante.

- La rentabilidad es una de las principales preocupaciones cuando se considera el uso de un sistema de recirculación. A menudo estos sistemas son caros de construir y de operar. Sin embargo, mediante la incorporación de un cultivo secundario de plantas, que recibe la mayoría de los nutrientes necesarios sin costo adicional, el beneficio del sistema de cultivo puede mejorar.
- Las plantas utilizadas en el sistema acuapónico purifican el agua de cultivo y, con un adecuado diseño, pueden eliminar la necesidad de biofiltros separados y costosos. Es así como en sistemas de acuaponía, el componente hidropónico puede proporcionar biofiltración suficiente para el cultivo de organismos acuáticos y por lo tanto evitar el costo de compra y operación de un biofiltro separado.
- Control completo y homogéneo de la nutrición vegetal (Axayacalt, 2014)
- Producción de alimentos en áreas reducidas (Aguilera *et al.*, 2012).
- La producción de peces es orgánica y de gran calidad (Aguilera *et al.*, 2012).
- Genera dos fuentes de ingreso diferentes: plantas y peces (Aguilera *et al.*, 2012).

B. Entre las desventajas se hallan:

- La proporción entre el área de cultivo de plantas y el área superficial para la cría de los organismos acuáticos.
- La necesidad de una gran proporción para el cultivo de las plantas se necesita para lograr un sistema equilibrado donde los niveles de nutrientes se mantengan relativamente constantes.

- En esencia, los sistemas de acuaponía hacen énfasis en el cultivo de plantas; sin embargo, es importante tener en cuenta que hay dos tipos de producciones, la vegetal y el animal. Por esta razón, es indispensable que se tengan conocimientos suficientes en las áreas de acuicultura y horticultura para poder ofrecer soluciones y mejoras a los sistemas de producción.
- Por último, los sistemas de producción acuapónica deben utilizar métodos de control biológico en lugar de pesticidas para proteger las plantas de plagas y enfermedades. Esto se debe a que los químicos empleados en la producción normal de plantas pueden alterar las características del agua y por ende afectar el componente acuático utilizado en el sistema. Sin embargo, esta restricción puede ser vista como una ventaja, ya que los productos de origen vegetal pueden ser ofrecidos en el mercado como “libres de pesticidas”.
- La necesidad de personal calificado en el mantenimiento de todos los componentes, el control de plagas que debe ser estrictamente biológico, y el poco conocimiento y dominio sobre el tema (Aguilera *et al.*, 2012).

2.2.1.4. Manejo del sistema acuapónico

A. Peces. Son los primeros que deben ser establecidos en el sistema, de manera seguida, las bacterias que nitrificarán los desechos y, por último, las plantas. Para la selección de la especie acuática se define el objetivo de la producción, la misma que puede ser ornamental o comestible por su mayor adaptabilidad. Los más comunes son la tilapia y la trucha por el rango de temperatura que toleran (Tabla

2) y su disponibilidad en muchos lugares. La selección de la especie se debe definir a través del seguimiento de un asesor experimentado, en estos sistemas (Somerville *et al.*, 2014).

Tabla 2

Niveles de temperatura, nitrógeno, oxígeno disuelto y requerimiento de proteína para las especies acuáticas usadas en acuaponía.

Especies	Temperaturas (°C)		Nitrógeno amoniacal total (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Proteína cruda en alimento (%)
	Vital	Optimo				
Carpa común	3-34	25-30	<1	<1	>4	30-38
Tilapia del Nilo	14-36	27-30	<2	<1	>4	28-32
Pez gato	5-34	24-30	<1	<1	>3	25-36
Trucha arcoíris	10-18	14-16	<0,5	<0,3	>6	42

Nota: Somerville *et al.*, (2014).

Según, Gómez *et al.*, (2015) el aprovechamiento productivo del cultivo de peces se puede planear de dos maneras:

- **Secuencial:** se tienen en el mismo estanque peces de distintas edades de manera estratégica para mantener la constancia en cuanto a la cosecha, se retiran los que alcanzan la madurez y se siembran nuevos. Tiene desventajas como la de suministrar alimentos para cada etapa en un mismo lugar, lo que

puede generar competencia o que se ingiera el alimento inadecuado. También se presenta estrés por cosechas continuas y rezago de algunos peces que no alcanzan el tamaño adecuado.

- **Escalonado:** se siembran los peces de la misma edad en contenedores separados a distintas fechas, así se programa que haya un tiempo definido entre cosechas. Este tipo permite suministrar el alimento específico para cada etapa y la cosecha es constante cuando se planea correctamente. Sin embargo, requiere distintos contenedores por etapa y tamaño; en las primeras etapas de desarrollo los contenedores deben ser pequeños para evitar perder espacio útil.
- La **alimentación** en casos de escala pequeña es fácil, ya que en el mercado existen alimentos balanceados en pellets que contienen los requerimientos para cada especie. En el caso del sistema acuapónico es muy importante no sobrealimentar, pues el alimento sobrante provoca que se eleven los niveles de amonio y nitrito a un nivel tóxico. También puede tapan los filtros mecánicos, pero se puede evitar removiendo el alimento sobrante no consumido de la superficie después de 30 minutos de aplicado.

B. Plantas. Es el sistema que aportará la mayor cantidad de ganancias debido al corto tiempo para cosecha en comparación con la acuicultura. A diferencia de los cultivos hidropónicos, las plantas producidas en acuaponía pueden obtener certificación orgánica, puesto que los nutrientes son suministrados por los desechos de los peces. Las plantas que mayor recomendación en este sistema son

las hortalizas de hoja (lechuga) y las plantas aromáticas (albahaca, menta, orégano), debido a que son cultivos de ciclos cortos (INTAGRI, 2017).

Tabla 3

Condiciones para la producción de plantas usadas en acuaponía.

Especie	Ph	Planta/m ²	Tiempo de crecimiento (semanas)	Temperatura (°C)	Exposición solar
Albahaca	5,5-6,5	8-40	5-6	20-25	Moderada-alta
Lechuga	6,0-7,0	20-25	4-5	15-22	Moderada-alta
Pepino	5,5-6,5	2-5	7-9	18-26	Alta
Morrón	5,5-6,5	3-4	8-12	15-30	Alta
Tomate	5,5-6,5	3-5	8-12	15-25	Alta
Brócoli	6,0-7,0	3-5	8-12	10-20	Moderada-Alta

Nota: INTAGRI, (2017).

2.2.1.5. Balance del sistema acuapónico

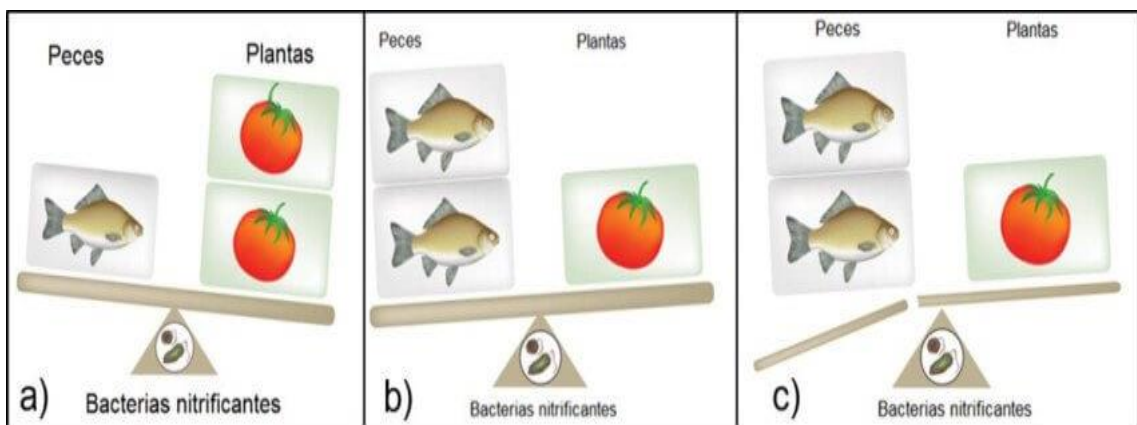
Como mencionó Somerville *et al.*, (2014), el mayor ingreso es proporcionado por el aprovechamiento de las plantas (66 a 90 %), ya que su ciclo de cosecha es más corto, por lo tanto, se debe mantener el equilibrio entre los individuos dentro del sistema (Figura 2). La relación puede variar por muchos factores, los más importantes son:

- Capacidad del sistema
- Método de producción (NFT, recirculante, cama de sustrato)
- Pez (nivel de actividad, tamaño)

- Alimentación del pez (requerimientos)
- Tipo de planta (fruto u hoja)
- Ambiente y condiciones adecuados
- Método de filtración

Figura 2

Esquema de desbalances en el sistema acuapónico.



Nota: Somerville *et al.*, (2014).

Según Somerville *et al.*, (2014), en el sistema acuapónico los desbalances más comunes son:

- Cuando existe un exceso de plantas y pocos peces, provoca que el alimento transformado no sea suficiente para cubrir la demanda nutricional de las plantas y se necesitan más peces.
- Cuando hay más peces y el alimento transformado en nutrientes es más de lo que las plantas pueden consumir, se eleva la cantidad de nitratos y se necesitan más plantas.

- c. Cuando los peces exceden la capacidad del biofiltro y además de nitrato, se concentra el amonio que es perjudicial para los peces (Somerville *et al.*, 2014).

Ejemplos de Somerville *et al.*, (2014), sobre el sistema acuapónico balanceado tomando en cuenta los requerimientos:

- Para 1 m² de cultivos de hojas (lechugas, acelgas, espinacas, etc.), es 40 - 50 gramos de alimento/día.
- Para 1 m² de cultivos de frutos (tomate, pepino, fresa, etc.), es 50 a 80 gramos de alimento/día.

2.2.2. Trucha (*Oncorhynchus mykiss*)

La trucha “arcoíris” (*Oncorhynchus mykiss*), es una especie íctica perteneciente a la familia *Salmonidae*, originaria de las costas del Pacífico de América del Norte que, debido a su fácil adaptación al cautiverio, su crianza ha sido ampliamente difundida en todo el mundo. En América del Sur, se encuentra distribuida en Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Mendoza, 2007).

2.2.2.1. Taxonomía

Respecto a las características taxonómicas de esta especie, Mendoza, (2007), distingue las siguiente:

- Reino: Animal
- Sub Reino: Metazoa
- Phylum: Chordata

- Sub Phylum: Vertebrata
- Clase: *Osteichthyes*
- Sub Clase: *Actinopterygii*
- Orden: *Isospondyli*
- Sub Orden: *Salmoneidei*
- Familia: *Salmonidae*
- Género: *Oncorhynchus*
- Especie: *Oncorhynchus mykiss*
- Nombre Vulgar: "Trucha arcoíris".

2.2.2.2. Características morfológicas

La trucha posee un cuerpo alargado, comprimido, engrosado en el centro y apuntado en la cabeza y la cola. Como pez nadador rápido que es, la forma del cuerpo es aerodinámica, con una silueta de tipo torpedo, y no presenta ninguna protuberancia que no sea funcional, ofreciendo la mínima resistencia al agua. El opérculo está pegado al cuerpo, los ojos están dentro de la cuenca, sin sobresalir, y las aletas están alojadas en las depresiones del cuerpo. La piel segrega una fina capa de una sustancia viscosa (mucus), gracias a la cual, la superficie lisa del animal se vuelve escurridiza. Varía mucho en tamaño, según el medio, pero puede alcanzar la madurez sexual, y por lo tanto considerarse adulta, cuando alcanza de 18 a 20 cm de longitud (Klontz, 1991).

2.2.2.3. Hábitat

Su hábitat natural se encuentra en aguas subtropicales a frías, viviendo cerca del fondo marino (hasta unos 200 metros) y remontando los ríos para desovar. Los alevines más pequeños son bentopelágicos, mientras que los juveniles de más edad se vuelven totalmente pelágicos. Su condición de anádroma hace que, esta especie, sea capaz de emigrar al mar en cualquier momento que lo necesite, siendo capaz de adaptarse a todo tipo de aguas. La dieta de los adultos es generalista, alimentándose de invertebrados, insectos y crustáceos y peces de escaso tamaño, mientras que los alevines se alimentan de zooplancton (FAO, 1991).

La **Trucha** tiene preferencia por los ríos, lagos y lagunas de aguas cristalinas y frías, con **temperaturas** que van desde los 7 hasta los 18°C y corrientes de agua moderadas a fuertes, ya que para mantenerse saludables hacen "ejercicio" nadando a contracorriente y gracias a esto su carne es muy cotizada por contener muy poca grasa, y alto contenido de proteínas, un trozo de 250 g. de su carne proporciona el 88% de lo requerido por niños y un 68% en adolescentes (FAO, 1991).

2.2.2.4. Sistemas de Cultivo

Las truchas arcoiris se crían en sistemas de monocultivo, generalmente en estanques de hormigón, que permite aumentar las densidades y producir más eficientemente. En otros países, existen grandes producciones de esta especie en viveros o jaulas flotantes, donde alcanza mayores tamaños para su comercialización (Panné y Luchini, 2012).

Las fases del ciclo de cultivo son las siguientes:

- a. Reproducción.** Las truchas no desovan de forma natural en las instalaciones acuícolas, por lo que se hace necesario el desove artificial de los huevos, utilizando para ello peces reproductores maduros de 3 o 4 años de edad. La proporción sexual de los reproductores, suele ser de un macho por cada tres hembras. Machos y hembras se mantienen generalmente separados (Panné y Luchini, 2012).
- b. Fertilización.** El método más empleado es la fertilización en seco, sin adición de agua. Los huevos y el semen son recolectados manualmente de los ejemplares anestesiados y mezclados a continuación. Suele usarse el semen de más de un macho para evitar la endogamia. Los huevos son incubados hasta que se alcanza la etapa de huevos embrionados (con ojos visibles), en bandejas de incubación, o incubadores de flujo vertical (Panné y Luchini, 2012).
- c. Cría de alevines.** El tiempo de eclosión varía en función de la temperatura, siendo de 100 días a 3,9 °C y 21 días a 14,4°C. A medida que los huevos eclosionan, los alevines, llamados “con saco” por tener una reserva de alimento en el saco vitelino, caen en una bandeja, donde pueden permanecer hasta que comienzan a tener un comportamiento pelágico, permaneciendo en la columna de agua, hasta los 10 o 14 días. En este momento, en el que el saco vitelino ha sido absorbido y comienzan la búsqueda activa de alimento, son trasladados a distintos tipos de pilas o estanques de fibra de vidrio de 2 m de diámetro, donde son alimentados con dietas iniciales

especializadas por alimentadores automáticos. Conforme van creciendo son movidos a tanques más grandes (Panné y Luchini, 2012).

- d. Engorde.** Cuando los alevines alcanzan 8-10 cm de longitud son trasladados a instalaciones de engorde al aire libre, generalmente tanques o estanques abastecidos con flujo de agua abierto, proporcionando a las truchas aguas bien oxigenadas y de calidad. Estas instalaciones suelen tener de 2 a 3 m de ancho, por 12-30 m de largo y 1-1,2 m de profundidad. Son engordados hasta tamaño comercial (30-40 cm) en aproximadamente 9 meses, o hasta tamaños más grandes en unos 20 meses. En algunas ocasiones los ejemplares son engordados en jaulas flotantes, aunque no en España, de unos 25 m de diámetro y unos 20 m de profundidad, asegurando un buen suministro de agua y oxígeno (Panné y Luchini, 2012).

2.2.2.5. Parámetros físico-químicos del agua en el cultivo de la trucha

Un aspecto importante para un proyecto 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 4 resume las principales características de la calidad del agua para el cultivo de trucha (FAO, 2014).

Tabla 4

Calidad del agua

Parámetro	Rango	Óptimo
Oxígeno (ppm)	7,5 a 12	8,5
Temperatura (°C)	13 a 18	15
pH	6,5 a 8,5	7,0

Nota: FAO, (2014).

Dentro de 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, por tanto, a temperaturas más altas el desarrollo es más rápido (FAO, 2014).

Otro parámetro que es 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)

FONDEPES, (2006) menciona que los rangos óptimos de las propiedades físicas y químicas del cuerpo de agua para la truchicultura son las siguientes:

Tabla 5

Parámetros físicos y químicos para cultivo de trucha arcoíris.

Parámetros	Rangos óptimos
Temperatura del agua	10 a 16 °C
Oxígeno disuelto	6,5 a 9 ppm
pH	6,5 a 8,5
CO ₂	< 7 ppm
Alcalinidad	20 a 200 mg/l CaCO ₃
Dureza	60 a 300 mg/l CaCO ₃
NH ₃	No mayor de 0,02 mg/l
H ₂ S	Máximo aceptado de 0,002 mg/l
Nitratos	No mayor de 100 mg/l
Nitritos	No mayor de 0,055 mg/l
Fosfatos	Mayor de 500 mg/l
Sulfatos	Mayor de 45 mg/l
Plomo	0,03 mg/l

Nota: FONDEPES, (2006).

2.2.2.6. Alimento balanceado

La composición del alimento balanceado para truchas, debe ser similar al alimento natural en su composición nutricional, con el fin de lograr el máximo crecimiento y desarrollo en el menor tiempo posible. Se debe resaltar que en el cultivo de trucha se utilizan alimentos con diferentes tenores de proteína, según la formula o el tipo, el tiempo que se debe utilizar cada tipo de alimento, por tanto, se debe tener en cuenta la relación directa con el tamaño del pez en sus diferentes estadios (FONDEPES, 2006).

2.2.2.7. Factor de conversión alimenticia

El factor de conversión alimenticia, se define como la cantidad de alimento suministrado (en kilogramos) durante un período determinado para obtener 1 Kg. de carne de trucha. Como los peces son alimentados en forma diaria, se recomienda llevar un registro de alimentación a fin de evaluar el crecimiento y la conversión obtenida tanto en forma quincenal o mensual; del resultado obtenido, se evaluará el rendimiento ya que en estos casos es mejor obtener una conversión alimenticia cercana a 1, siendo lo recomendable utilizar alimentos extruidos, un factor de conversión ideal es 1:1 (FONDEPES 2014).

Según FONDEPES (2014), para expresar este concepto se utiliza el denominado Factor de Conversión Alimenticia (FCA), que se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$FCA = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado en el periodo (Kg)}}{\text{Ganancia de peso de la población en el periodo (Kg)}}$$

Morales, (2004), indica que los peces generalmente presentan un FCA de 1,2 a 1,8; sin embargo, aun cuando estos valores no fueron muy elevados, en general, estos valores calculados son suficientes para poder indicar que hubo una conversión alimenticia.

En la región del lago Titicaca según Carpio y Tito (2017), cuenta con estudios de conversión alimenticia para la trucha arcoíris, realizada en base a la proporción de

alimento, temperatura promedio (12 y 14 °C) y buena calidad del agua, dando como resultado que para producir 1 kg de carne de trucha se requiere de un aproximado de 1,4 kg de alimento balanceado.

Así mismo García, y Zevillanos, (2004), mencionan que un valor mayor a dos en el factor de conversión alimenticia, indica una baja eficiencia de los peces para convertir el alimento en carne, lo ideal es que sea igual a uno.

2.2.2.8. Comercialización

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es una especie de gran aceptación para el consumo humano. La comercialización en el mercado nacional se ve favorecida gracias al uso de su carne en la gastronomía, su gran valor nutricional, la aparición de nuevos canales de distribución (supermercados), precios accesibles y el desarrollo de nuevas presentaciones, entre las que destacan la trucha salmonada, la de corte mariposa y los filetes (SINACUI – PRODUCE, 2022).

2.2.3. Procesos de nitrificación y desnitrificación

2.2.3.1. Nitrificación

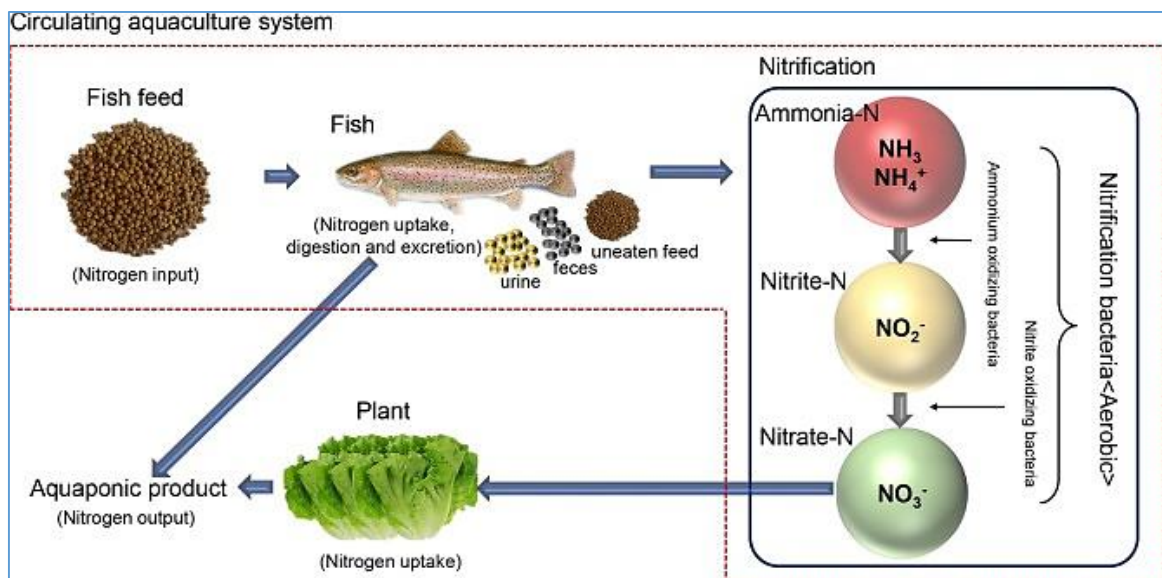
El nitrógeno es un nutriente esencial para los organismos vivos, pero dependiendo de la forma química que se encuentre puede ser nocivo para estos. La aparición de estos compuestos nitrogenados es particularmente importante para la acuicultura intensiva a causa de la toxicidad ocasionada por el amoníaco (NH_4). El NH_3 es producto primario del

catabolismo proteico y es expulsado por los peces a través de sus branquias por difusión. La nitrificación es la oxidación biológica del amonio a nitrato por microorganismos aerobios que usan el oxígeno molecular (O_2) como aceptor de electrones, es decir, como oxidante. El proceso de nitrificación consiste en dos procesos distintos, separados y consecutivos, realizados por organismos diferentes (Casas, 2008)

- Nitrosación. partiendo de amonio se obtiene nitrito (NO_2^-). Lo realizan bacterias, entre otros, los géneros Nitrosomonas (Casas, 2008).
- Nitratación. Partiendo de nitrito se produce nitrato (NO_3^-). Lo realizan bacterias del género Nitrobacter (Casas, 2008).

Figura 3

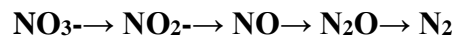
Procesos de nitrificación y desnitrificación



Nota: Caló, (2011).

2.2.3.2. *Desnitrificación*

La desnitrificación es un proceso que realizan ciertas bacterias durante la respiración usando el nitrato como aceptor de electrones en condiciones anaeróbicas. El proceso de reducción de nitratos hasta nitrógeno gas ocurre en etapas seriales, catalizadas por sistemas enzimáticos diferentes, apareciendo como productos intermedios nitritos, óxido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gas (Casas, 2008).



La desnitrificación requiere un sustrato oxidable ya sea orgánico o inorgánico que actúe como fuente de energía, por lo que la desnitrificación puede llevarse a cabo tanto por bacterias heterótrofas como autótrofas (Casas, 2008).

2.3. Definición de términos básicos

- a. **Sistema acuapónico:** integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual se juntan, el componente acuícola y el componente hidropónico (Caló, 2011).
- b. **Sistema super-intensivo:** Un sistema súper intensivo es donde la densidad de siembra es muy alta y se asiste continuamente con oxígeno, abundante alimento y un reciclado constante de las sustancias tóxicas y residuos del agua. (Avnimelech, 2015).

- c. **Calidad de agua:** Está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua a que se refiera (Casas, 2008).
- d. **Tasas de crecimiento del pez:** es decir, el aumento en peso o en longitud por unidad de tiempo (FAO, 1991).
- e. **La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)** es un pez eurihalino de agua dulce y de mar de la familia de los salmónidos, distribuido de forma nativa por el norte del océano Pacífico, desde Japón pasando por el mar de Bering hasta la península de Baja California en México, aunque de forma artificial ha sido introducida por el hombre en muchos lugares (FAO, 1991).
- f. **Dieta:** Conjunto de sustancias alimenticias que componen el comportamiento nutricional de los seres vivos (Otero, 2012).
- g. **Ración:** la cantidad de alimento distribuida (Otero, 2012)
- h. **Tasa de alimentación:** La ración expresada por unidad de peso corporal (Otero, 2012).
- i. **Oxígeno:** El oxígeno es un elemento químico de número atómico 8 y representado por el símbolo O. Su nombre proviene de las raíces griegas ὀξύς (oxys) («ácido», literalmente «punzante», en referencia al sabor de los ácidos) y -γόνοσ (-gonos) («productor», literalmente «engendrador»; es decir, "productor de ácidos" (Asimov, 2014).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Lugar y tiempo de investigación

El presente estudio se llevó a cabo en la Laguna de Aricota (zona pampa blanca), Distrito de Curibaya – Provincia de Candarave – Región Tacna, a 350 km de la ciudad de Tacna a una Latitud 17°36'S, Longitud 70°32'W, altitud de 2834 msnm. El proceso de implementación de los sistemas acuapónicos, se inició en noviembre del 2017; el proceso de la experimental el 11 de julio 2018, culminado el 15 de noviembre del 2018 (después de un trabajo en forma continua).

Figura 4

Ubicación del centro donde se realizó la investigación



Nota: Google Earth, (2018).

3.1.1. Condiciones climáticas

La laguna Aricota, situada a gran altitud, se caracteriza por presentar un clima clasificado como Piso Templado. Las temperaturas medias de esta región son el resultado de las variaciones diarias entre el día y la noche a lo largo del año. Las precipitaciones son estacionales, pero su cantidad varía en diferentes áreas de la vertiente occidental. En el sur, por ejemplo, la aridez se intensifica debido a la altitud y a la extensión de la meseta del relieve andino. La temperatura promedio en este lugar es de 14 °C, como se constató en el punto de muestreo.

Los habitantes de esta zona se dedican principalmente al pastoreo de ganado vacuno, ovino y camélidos, además de llevar a cabo actividades agrícolas destinadas a su subsistencia.

3.2. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación, por su naturaleza, es de carácter aplicado, ya que se fundamenta en bases teóricas relacionadas con el sistema acuapónico.

El enfoque es experimental, ya que se han identificado las variables independientes, como la acuaponía utilizada para la producción de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa sp*), además, se realiza una evaluación de diferentes porcentajes de proporción del alimento; en la variable dependiente, se midió el crecimiento en talla, peso y mortalidad de las truchas y las lechugas. Posteriormente, se analizaron las variables intervinientes, tales como

el amonio, nitrito, nitrato, el potencial de hidrógeno (pH), la temperatura, el oxígeno disuelto del agua, tasa de alimentación y el FCA.

3.3. Diseño de investigación/estadístico

Esta investigación se realizó bajo un diseño experimental estadístico denominado Diseño Completamente Al Azar (DCA), el cual contempló tres (3) tratamientos y tres (3) repeticiones, sobre un total de 9 unidades experimentales que incluían 342 juveniles de trucha arcoíris y 540 plántulas de lechuga como unidades de muestra. Para analizar la significancia de los resultados, se aplicó la prueba de promedios de Tukey, utilizando un nivel de significancia de ($P < 0,05$) correspondiente a una determinada cantidad de grados de libertad. El análisis se realizó con el apoyo del programa estadístico SPSS, versión 25.

3.4. Método de la investigación

3.4.1. Materiales de estudio

En la investigación se llevó a cabo, un estudio utilizando peces en un sistema acuapónico experimental, específicamente con la especie de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en tres tratamientos diferentes. En lo que respecta a las plantas, se utilizó la variedad *Lactuca sativa sp*, conocida comúnmente como "lechuga".

3.4.1.1. Lugar de procedencia de los animales y plantas

a. Peces

Los ejemplares de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) provienen de la empresa FISHESLAKE S. R. L., ubicada en la Laguna Aricota, en el distrito de Curibaya, provincia de Candarave, dentro de la Región de Tacna. Esta empresa se dedica a la producción y comercialización mayorista de truchas, alcanzando una producción mensual de 20 000 ejemplares. Su principal mercado comprende la región de Tacna, y cumple con toda la normativa en materia de bienestar, higiene y comercialización.

La recolección de los peces se llevó a cabo accediendo a las instalaciones del centro de cultivo a través de un bote. Una vez allí, los peces fueron capturados con un calca, seleccionados y posteriormente medidos en su peso tamaño. Finalmente, los ejemplares recolectados fueron trasladados de inmediato, al lugar del experimento, donde fueron alojados en tanques de fibra de vidrio (ver figura 5).

Figura 5

Peces para el experimento, trucha (Oncorhynchus mykiss)



Nota: Elaboración propia (2018).

b. Plantas

En lo pertinente a las plantas, se utilizó la lechuga orgánica de crecimiento vegetativo rápido, es decir la *Lactuca sativa sp* (color verde). Estas fueron provenientes de un vivero, del distrito de Pocollay, provincia de Tacna (Región de Tacna). La compra se realizó en bandejas semilleros (Ver figura 6). Se colocó en una caja, en las mismas bandejas que se compró, para evitar algún maltrato de las hojitas

de lechuga al momento del transporte; y así mismo, se realizó su traslado inmediato al lugar del experimento.

Figura 6

Plantones de lechuga para el experimento.



Nota: Elaboración propia (2018).

3.4.2. Características de los ejemplares

Se emplearon 342 truchas juveniles arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), con un peso promedio de 39,5 g/trucha, que se distribuyeron en los tres tratamientos, cada tratamiento con tres repeticiones, con una densidad promedio de 338 peces por estanque equivalentes a una biomasa de 1,5 kilos.

Figura 7

Medición de pesos y tallas de la muestra, trucha arcoíris.



Nota: Elaboración propia (2018).

Se emplearon 540 plántulas de lechugas, de con una medida de promedio de 10 cm del tallo, 6 cm de raíz, con de 3 hojas y con un peso inicial de 3 g, que se distribuyeron en tres tratamientos, cada tratamiento con tres repeticiones, en cada una de 60 plántulas por cama hidropónico.

Figura 8

Medición de pesos y tallas o longitud para de lechugas.



Nota: Elaboración propia (2018).

3.4.3. Material biológico

Los sistemas acuapónicos logran mantener, en equilibrio, simultáneamente tres poblaciones biológicas: peces, plantas y bacterias.

En lo que respecta a los peces, se comenzó con una población inicial de 114 truchas arco iris por cada tratamiento, distribuyendo 38 truchas por repetición y utilizando un total de 342 peces en el sistema.

- a. 38 peces (1,5 kg) para cada repetición, en cada tanque, haciendo un total 114 peces (tratamiento 1)
- b. 38 peces (1,5 kg) para cada repetición, en cada tanque, haciendo un total 114 peces (tratamiento 2)
- c. 38 peces (1,5 kg) para cada repetición, en cada tanque, haciendo un total 114 peces (tratamiento 3)

Para el proyecto, se optó por utilizar lechuga de crecimiento vegetativo rápido (*Lactuca sativa sp*) de color verde. En total, se emplearon 540 plantas, que fueron trasplantadas de la siguiente manera:

- a. Se asignaron 60 plantas por repetición en el sistema DFT, alcanzando un total de 180 plantas para el tratamiento 1.
- b. Se repitió la misma cantidad de 60 plantas por repetición en el sistema DFT, resultando en otras 180 plantas para el tratamiento 2.
- c. Finalmente, se mantuvo el mismo esquema de 60 plantas por repetición en el sistema DFT, sumando otras 180 plantas para el tratamiento 3.

En lo que respecta a las bacterias, se promovió el crecimiento y la proliferación de las bacterias nitrificantes a lo largo de todo el circuito. Estas son las responsables de

llevar a cabo la oxidación del amonio (NH_4) o amoníaco (NH_3) en nitritos (NO_2), y de estos, en nitratos (NO_3), que es la forma que las plantas pueden asimilar.

Para fomentar la proliferación de bacterias, se mantuvo el circuito en recirculación con agua, sin la presencia de peces ni plantas, durante un periodo de 30 días. Durante este tiempo, las bacterias se desarrollaron en las paredes de los depósitos y en las conducciones, así como en las biobolas (tubos corrugados) del filtro biológico. Pasados estos 30 días, se introdujeron las truchas en los estanques con el fin de acelerar el ciclado, ya que los peces recibirían alimentación, lo que contribuye a un rápido incremento del cultivo bacteriano en el sistema.

3.4.4. Procedimiento

Cada sistema contaba con una recirculación constante y cerrada de manera individual (ver figura 9).

El trabajo experimental del sistema acuapónico se llevó a cabo utilizando nueve (9) tanques de fibra de vidrio de fondo plano. Cada tanque tiene una altura efectiva de 0,90 m y un diámetro de 1,20 m, con un volumen de 1 m³. De manera similar, los demás tanques para peces. En total, se dispuso de 8.15 m³ de agua para el cultivo de peces.

Por nueve (9) tachos de 30 litros, las cuales fueron utilizados como decantador en sistema acuapónico, por nueve (9) tachos de 50 litros, las cuales fueron utilizados como filtro biológico.

Posteriormente, se incorporó la sección hidropónica, tal como se muestra en la figura 9. Esta sección consta de nueve (9) camas hidropónicas de raíz flotante, fabricadas de madera, de fondo plano, y recubiertas con plástico. Las dimensiones son las siguientes: la cama hidropónica N° 1 tiene una altura efectiva de 0,20 m, un ancho de 1 m y un largo de 1,50 m, lo que equivale a un volumen de 0,3 m³. Lo mismo ocurre con las ocho (8) camas hidropónicas restantes, cada una con las mismas medidas. En total, el volumen de las nueve (9) camas es de 2,7 m³.

Figura 9

Incorporación de la sección hidropónica.



Nota: Elaboración propia (2018).

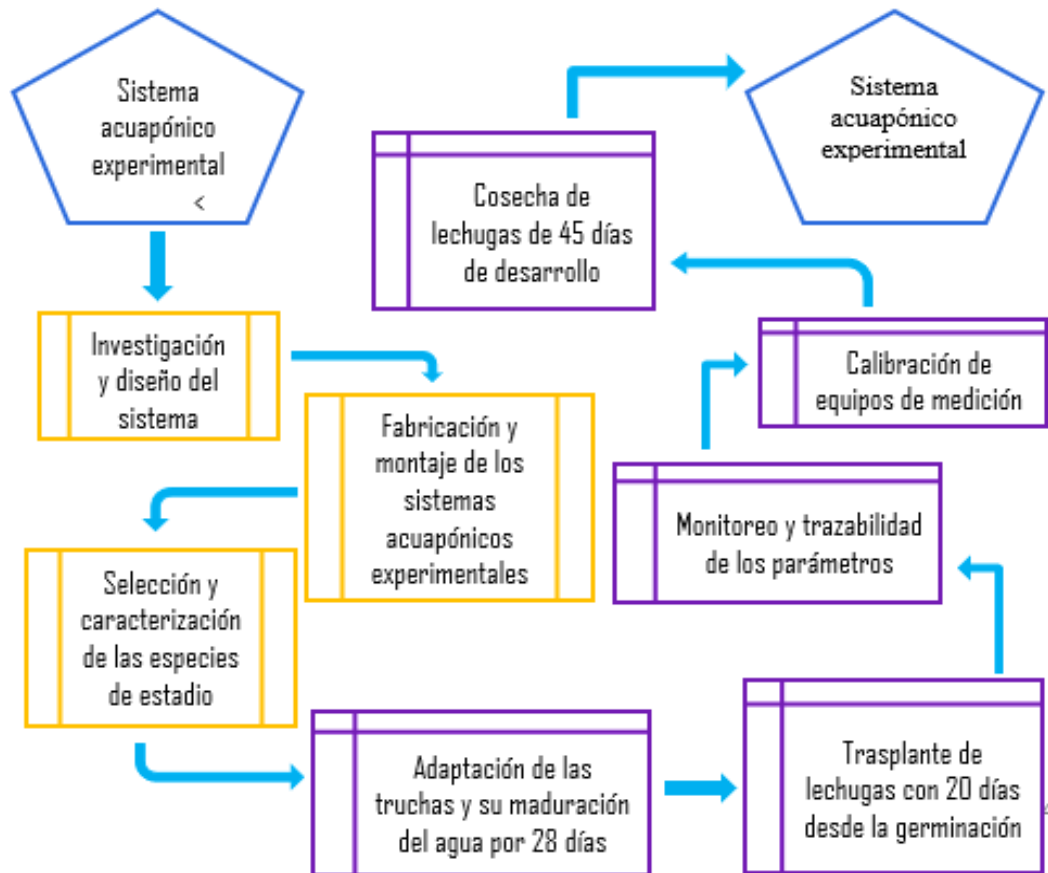
En los nueve (9) tachos de 35 litros, como tanque de acopio se instalaron las bombas sumergibles.

La aireación de los tanques se llevó a cabo mediante la caída de agua, utilizando bombas sumergibles para permitir la circulación del líquido, sin embargo, para aireación de los biofiltros se utilizó un mini flower.

Para evaluar las variables dependientes, relacionadas con el crecimiento en peso y talla de los peces, se empleó una balanza electrónica calibrada en gramos (de 5 kg) y un ictiómetro graduado en milímetros (de 1 a 40 cm). En cuanto a las variables químicas, se utilizó un maletín con un kit de reactivos que permitió medir los parámetros más relevantes: pH, nitrito, nitrato, amonio y oxígeno disuelto. Adicionalmente, para medir la temperatura del agua, se requirió un termómetro de mercurio.

Para la recolección de datos, se utilizaron varios instrumentos, como una ficha de producción (Anexo 3), que facilitó el registro de los pesos y tallas de los peces evaluados; una ficha de control de alimento (Anexo 10), que ayudó a llevar un seguimiento del alimento suministrado; y una ficha de control de calidad del agua (Anexos 8 y 9), en la que se anotaron las variables fisicoquímicas resultantes del sistema acuapónico.

Flujograma del procedimiento de instalación de un sistema acuapónico



Nota: elaboración propia (2019).

3.4.5. Tratamientos

Los tratamientos se detallan en la tabla 6:

Tabla 6

Distribución de unidades de muestra (plántulas y peces) en el sistema acuapónico.

Tratamientos	Repeticiones	Tasa de alimentación (%)	Biomasa de peces (kg)	Plantas por (1,5 m²)
T1	R1	3	1,5	60
	R2	3	1,5	60
	R3	3	1,5	60
T2	R1	2,2	1,5	60
	R2	2,2	1,5	60
	R3	2,2	1,5	60
T3	R1	1,5	1,5	60
	R2	1,5	1,5	60
	R3	1,5	1,5	60

Nota: Elaboración propia (2018).

3.4.6. Manejo del sistema acuapónico

3.4.6.1. Los peces

Los juveniles de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) fueron los primeros organismos en ser introducidos en el sistema. Sus excretas favorecieron la colonización de bacterias nitrificadoras, creando así las condiciones óptimas para la siembra de las plantas.

Se llevaron a cabo siembras con una densidad de T1 por repetición = 38 peces/m³, T2 por repetición = 38 peces/m³ y T3 por repetición = 38 peces/m³, cada una con

tres réplicas. En total, se utilizaron 342 juveniles de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la etapa I para el sistema acuapónico. Cada tanque tenía un volumen promedio de 1,5 m³, lo que resultó en un total de 4,5 m³ de agua.

La evaluación del peso y la talla de los peces se realizó cada 15 días durante un periodo de cuatro meses, lo que permitió llevar a cabo un total de ocho evaluaciones biométricas. Se seleccionaron al azar cinco peces de cada tanque, lo que representó el 13,5% de la población total de 38 peces.

El procedimiento consistió en introducir un carcal en cada tanque para capturar los peces de forma aleatoria, depositándolos luego en un balde de 20 litros. Posteriormente, se realizó la biometría individual utilizando un ictiómetro para determinar la longitud, y se pesaron con una balanza gramera antes de devolverlos a su tanque original. Se registraron los datos obtenidos y se graficaron en una hoja de Excel para facilitar su análisis.

Estos datos también fueron fundamentales para establecer la ración de alimentación de acuerdo a la tasa recomendada para la especie.

Tabla 7

Tasa de alimentación para la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss).

<i>Peso individual (g)</i>	<i>Tasa % (T°: 14)</i>
<i>1</i>	<i>6</i>
<i>3</i>	<i>4,5</i>
<i>6</i>	<i>35</i>
<i>15</i>	<i>2,8</i>
<i>25</i>	<i>2,0</i>
<i>50</i>	<i>1,8</i>
<i>100</i>	<i>1,5</i>
<i>200</i>	<i>1,2</i>
<i>300</i>	<i>1,0</i>

Nota: FAO y OPS, (2016).

a. La ración se estableció de la siguiente manera:

En un tanque hay una población de 38 peces, cuyo peso promedio es de 39,5 g. En primer lugar, se calculó la biomasa:

Biomasa = peso promedio x población

Biomasa = 39,5g x 38 Peces

Biomasa = 1501/1000= 1,50 kg

Ración:

La ración se calculó multiplicando la biomasa por la tasa de alimentación, la cual se puede consultar en la tabla 7 correspondiente a las tasas de alimentación de la especie.

- a. **Tratamiento 1:** Se determinó que la cantidad de alimento necesaria era de 45 g por día, calculada mediante la fórmula $R = 1,5 \text{ kg} \times 0,03$. Este mismo procedimiento se llevó a cabo en las tres repeticiones.
- b. **Tratamiento 2:** En este caso, la cantidad de alimento requerida fue de 33 g por día, obtenida a partir de la fórmula $R = 1,5 \text{ kg} \times 0,022$. Este cálculo también se realizó en las tres repeticiones.
- c. **Tratamiento 3:** Para este tratamiento, se necesitó alimentar con 22,5 g por día, basado en la fórmula $R = 1,5 \text{ kg} \times 0,015$. Al igual que en los anteriores, este cálculo se efectuó en las tres repeticiones.

b. Alimentación

Se utilizó un alimento concentrado peletizado, formulado especialmente para truchas de la marca Nicovita (crecimiento I). Este concentrado contenía una composición nutricional de 45% de proteína, 15% de grasa, 12% de humedad, 15% de ceniza y 5% de fibra. El producto se presenta en sacos de 25 kg, con un precio de S/. 135 por saco. La alimentación se realizó durante un periodo de 4 meses, llevándose a cabo dos veces al día, a las 8:00 a. m. y a las 4:00 p. m. El alimento fue esparcido al voleo, lo que permitió una distribución homogénea en la superficie del agua y ayudó a minimizar la competencia durante la

alimentación. Se administró la cantidad de alimento correspondiente a cada tratamiento, y se registró el consumo diario en cada repetición para llevar un control adecuado.

c. Evaluación de crecimiento y aumento de peso

La longitud (o peso) de las truchas es un parámetro que en la fórmula de la GL (ecuación 2) se denota como L_i y L_f . Para llevar a cabo las mediciones de la longitud estándar, así como de otras dimensiones corporales, como la altura y la longitud estándar, se utilizó un ictiómetro milimétrico convencional, con una precisión de 0,1 mm. Este parámetro se midió para cada tratamiento antes (L_i) y después (L_f) de un periodo de quince días. Los valores de longitud obtenidos fueron empleados para calcular 44 índices diferentes de crecimiento, tales como la Ganancia Media Diaria (GMD), el Factor de Condición (FC) y la relación peso-longitud estándar (Núñez *et al.*, 2010).

Incremento de peso y tamaño de los peces.

El incremento de peso y tamaño en los peces son aspectos clave en la producción, los cuales se determinaron empleando las fórmulas A y B, considerando los valores medidos del peso y la longitud, tanto iniciales como finales.

Ganancia media diaria de peso y tamaño.

De acuerdo con Ochoa (2009), la ganancia media diaria se define como el cambio en peso o longitud durante un periodo de tiempo determinado, y se expresa a través de las siguientes fórmulas:

$$A \quad GMD = \frac{Pf - Pi}{Dias}$$

$$B \quad GMD = \frac{Lf - Li}{Dias}$$

Definiciones:

- G. M. D = Ganancia Media Diaria
- Pf = Peso Final
- Pi = Peso Inicial
- Lf = Longitud Final
- Li = Longitud Inicial

Cantidad de alimento consumido

La cantidad de alimento ingerido se determinó mediante la suma del suministro proporcionado en cada uno de los tratamientos del estudio.

Factor de conversión alimenticia (FCA)

El FCA es un factor productivo que fue calculado, utilizando el peso promedio y la cantidad de alimento suministrado, que se expresa mediante la siguiente fórmula (FONDEPES 2014):

$$\text{FCA} = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado en el periodo (kg)}}{\text{Ganancia de peso de la población en el periodo (kg)}}$$

d. Evaluación de la sobrevivencia (S)

El porcentaje de sobrevivencia se calculó considerando la diferencia entre el número final e inicial de individuos, según lo propuesto por Núñez *et al.*, (2010).

$$S = \frac{NPf}{NPi} * 100$$

Dónde:

S = Supervivencia expresada en porcentaje

NPf = Número final de alevinos,

NPi = Número inicial de alevinos.

Rendimiento de la producción

El rendimiento de la producción de cada tratamiento se midió en kilogramos por metro cuadrado.

Control de enfermedades en los peces

Las fluctuaciones abruptas en la temperatura, la calidad del agua y la alimentación generan estrés en los peces, haciéndolos más vulnerables a enfermedades.

Una estrategia efectiva para combatir las infecciones fúngicas en los peces es la aplicación de 0,5 gramos de sal industrial por litro de agua.

3.4.6.2. Las bacterias

Las bacterias nitrificadoras, como *Nitrosomonas sp.* y *Nitrobacter sp.*, se encuentran de manera natural en el medio ambiente y han colonizado las camas del sistema de forma espontánea. Cuando se introducen los peces en los tanques, sus excretas elevan los niveles de amonio. En este contexto, las bacterias *Nitrosomonas sp.* son las primeras en establecerse, encargándose de convertir el amonio en nitritos. Como resultado, la concentración de amonio disminuye y la de nitritos aumenta. En este punto, entra en acción el siguiente grupo de bacterias, *Nitrobacter sp.*, que transforma los nitritos en nitratos.

Se considera que el sistema ha alcanzado su madurez cuando los niveles de amonio y nitritos son bajos, mientras que los nitratos se encuentran en concentraciones elevadas. Este es el momento idóneo para plantar. Según Colagrosso, (2014), citado por Grande y Luna (2010), se recomienda una concentración de nitratos de 40 ppm o ml/l para proceder con la siembra.

3.4.6.3. La calidad del agua

La calidad del agua se determinó utilizando un kit de reactivos de JBL TESTLAB. Los parámetros químicos que se midieron fueron: pH, nitritos, nitratos,

amonio y oxígeno disuelto. El maletín del kit incluía pequeñas botellas con los reactivos, un termómetro, frascos de ensayo, jeringas y tubos de ensayo milimetrados, así como una tabla de colores que indica los niveles de pH y las concentraciones en mg/l de nitrito, nitrato, amonio y oxígeno disuelto.

Para llevar a cabo la medición de los parámetros mencionados, se extrajo agua de los tanques donde se encontraban los peces, utilizando una jeringa de 5 ml. Se llenaron dos frascos con 5 ml de agua cada uno: el frasco N° 1 se utilizó como muestra en blanco y el frasco N° 2 como muestra para el análisis. En el frasco N° 2, se aplicaron las gotas y las cucharadas de reactivos en polvo, siguiendo las cantidades indicadas en la guía. Después de agitar, se comparó el color resultante con la tabla de colores.

Para evaluar el parámetro físico de la temperatura del agua, se empleó un termómetro de mercurio. Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se realizaron semanalmente y se registraron los datos obtenidos. Estos fueron graficados en una hoja de Excel para facilitar la lectura e interpretación de las condiciones fisicoquímicas del agua.

3.4.6.4. *Las plantas*

Los últimos organismos en incorporarse al sistema acuapónico fueron las plantas de *Lactuca sativa*, comúnmente conocidas como lechugas, las cuales se sembraron 30 días después de introducir los peces

a. Actividades diarias

Las rutinas diarias más importantes fueron las siguientes:

- Alimentar a los peces.
- Retirar los peces que han fallecido.
- Monitorizar el nivel del agua y completar lo que falte.
- Revisar las tuberías en busca de fugas.
- Supervisar las entradas y salidas de agua, asegurando un flujo adecuado y la ausencia de obstrucciones.
- Controlar la temperatura, los niveles de oxígeno y el pH.

b. Actividades semanales

- La temperatura se midió utilizando un termómetro digital.
- Se realizó la limpieza de los tanques y el recambio parcial de agua, que representó un 20% del total.
- Para evaluar la calidad del agua, se utilizó un kit reactivo de JBL TESTLAB. Cuando los niveles de amonio y nitritos superaron los niveles tolerables para las especies de peces cultivadas, se llevó a cabo un cambio parcial de agua (aproximadamente un 20%) y se incrementó el tiempo de bombeo.
- Para regular la temperatura del agua, los tanques se cubrieron con plástico negro por la noche y se destaparon durante el día. Posteriormente, se mantuvieron cubiertos durante toda la investigación para proteger a los peces.

- Con el fin de monitorear el crecimiento de las plantas, se evaluaron 45 ejemplares de un total de 540.

c. Las actividades quincenales

Se realizó una evaluación de biometría en 45 peces de un total de 342, considerando su tamaño y peso, con el fin de minimizar el estrés en los animales.

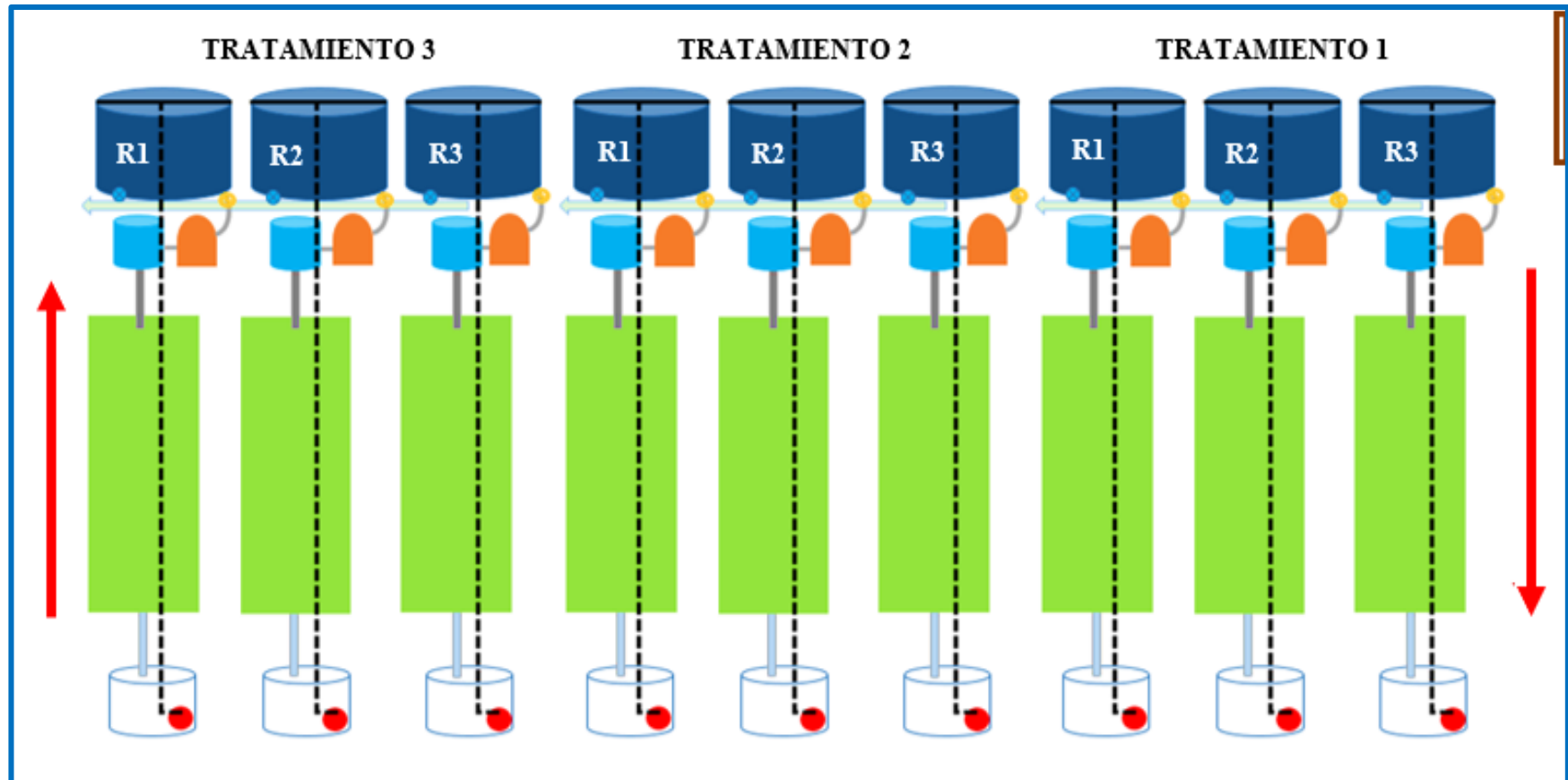
3.5. Diseño del sistema acuapónico de la investigación

3.5.1. Croquis de ubicación de los tratamientos

En la figura 10 se presenta el croquis de ubicación de los tratamientos.















Figura 10

Croquis de ubicación de los tratamientos.



Nota: Elaboración propia, (2018).

Funcionamiento del sistema acuapónico

-  : Tanque de peces
-  : Llave de paso general
-  : Llave de desagüe
-  : Tuberías de desagüe
-  : Tuberías de conducción al decantador
-  : Decantadores
-  : Tuberías de conducción del decantador hacia el filtro biológico
-  : Filtro biológico
-  : Tuberías de conducción de agua del filtro biológico hacia las camas de plantas
-  : Camas para las lechugas
-  : Tuberías de descarga del agua de las camas hacia tanque de acopio de agua limpia.
-  : Tanque de acopio de agua limpia
-  : Bomba sumergible
-  : Tuberías de retorno del agua a los tanques de los peces.

3.6. Sistema de producción acuapónica

La instalación del sistema acuapónico que se ha implementado en este experimento es de "baja densidad" en cuanto a la población de peces. Para su diseño, se han considerado distintos modelos del manual de acuaponía (Somerville *et al.*, 2014), utilizando como referencia la técnica NFT (Nutrient Film Technique) y la técnica DFT (Deep Flow Technique). Estos sistemas presentan las siguientes características:

3.6.1. Acondicionamiento de los elementos esenciales en un sistema acuapónico tipo DFT “Deep Flow Technique”

Después de haberse trasladado todos los materiales mencionados, al lugar del experimento, se inicia el acondicionamiento de las instalaciones de tanques de peces, tuberías, decantador, camas flotantes como medio de cultivo hidropónico, para luego alojar las plantas como medio de cultivo, tanques de recolector y las bombas sumergibles, y así obtener el sistema de recirculación cerrada de acuaponía, esto en tres sistemas individuales para tres tratamientos indicados, y construcción del invernadero, así como se muestra en la (figura 11).

Figura 11

Construcción del sistema acuapónico (armado de invernadero, instalación de los tanques, filtros biológicos, camas hidropónicas y tuberías)



Nota.: Elaboración propia, (2018).

3.6.2. Sistema DFT “Deep Flow Technique”.

Los peces fueron alojados en un tanque de fibra de vidrio con una capacidad de un metro cúbico de agua. El circuito de agua opera en un flujo continuo de recirculación, comenzando con la salida del agua desde el tanque de los peces. Luego, el agua pasa por un decantador, que es un depósito cilíndrico, y continúa su recorrido hacia un filtro biológico, también cilíndrico, todo ello gracias a la fuerza de la gravedad. Después, el agua se dirige hacia una cama hidropónica antes de llegar a un tanque de almacenamiento o recolector. Desde allí, el agua es bombeada de regreso

al tanque de los peces, garantizando un flujo constante. El sistema DFT, que presenta una elevación de 2 metros, utiliza una pendiente del 3% para facilitar que el agua vuelva a caer en el tanque de los peces.

3.6.3. Operaciones llevadas a cabo en los peces

Desde la recepción de los peces hasta la culminación del proyecto, se llevaron a cabo diversas operaciones de control y mantenimiento, con el fin de obtener resultados óptimos y recopilar la mayor cantidad de información posible.

Para almacenar todos los datos derivados de estas operaciones, se utilizó un cuaderno de apuntes en el que se registraba la información necesaria, lo que permitió calcular posteriormente diversos parámetros, como el índice de conversión y la ganancia media diaria, entre otros.

La cantidad de alimento administrado a los peces variaba según cada tratamiento: T1 recibió un 3%, T2 un 2,2% y T3 un 1,5% diario del total de la biomasa en cada tanque, cifra que se ajustaba tras cada pesada mensual. Con el objetivo de minimizar el desperdicio, se decidió aportar la mitad de la ración diaria en dos entregas: una por la mañana y otra por la tarde, a las 8:00 a. m. y 2:00 p. m.

a. Toma de datos

A continuación, se detallan las pesadas de cada uno de los tanques:

1. Pesca de peces: Con la ayuda de un calcal (figura 12), se buscó capturar al azar cinco individuos de peces.
2. Recipiente para las truchas: Las truchas pescadas se colocaban en un recipiente de plástico lleno de agua del mismo tanque. En su interior, se incorporaba un aireador para garantizar que los peces tuvieran suficiente oxígeno. Cuando se requería para el muestreo, se procedía a su pesado.
3. Pesado y medición de los peces: Antes de pesar a los peces, se utilizaba una balanza electrónica para medir el peso de un cubo tipo plato de aluminio con una pequeña cantidad de agua. Se anotaba este peso y posteriormente se pesaban los peces, midiendo también su talla. Tanto los pesos como las tallas eran registrados, lo cual permitía calcular el peso total de los peces y el promedio de crecimiento en cada tanque.
4. Devolución al tanque: Una vez pesados, los peces eran devueltos a su tanque original.

Figura 12

Calca para capturar los peces.



Nota: Elaboración propia, (2018).

Figura 13

Toma de datos de los peces (peso y talla)



Nota: Elaboración propia, (2018).

b. Ración de alimento suministrada

Las raciones de alimento se preparaban de manera semanal. Se empleó una balanza digital para medir con precisión la cantidad necesaria, basada en la biomasa de los peces. Luego, se distribuía el alimento en recipientes individuales para cada día de la semana y sistema, preparando un total de 14 raciones para cada tratamiento.

3.6.4. Operaciones llevadas a cabo en la lechuga.

a) Trasplante: Se llevó a cabo 28 días después de la introducción de los peces al sistema, con el fin de garantizar que el nivel de nitrógeno en el agua fuera el adecuado. Las plantas de los tres sistemas, así como las del testigo, fueron trasplantadas durante la semana del 30 de septiembre al 2 de octubre de 2018.

El trasplante se realizó de la siguiente forma: Se plantaron en cada cama 60 plantas, la distancia entre plantas de la misma línea son 15 cm, en un área de 1,5 m².

Para los **tres tratamientos** se utilizaron la misma densidad de plantas y con la misma área de cultivo hidropónico, en figura 14.

Figura 14

Trasplantes de las lechugas al sistema acuapónico.



Fuente: Elaboración propia, (2018).

b) Toma de datos: Se seleccionaron al azar cinco plantas de lechugas de cada cama hidropónica. Los datos se recogieron semanalmente de la siguiente manera:

- **Altura de las plantas:** Se utilizó una cinta métrica, colocando el cero sobre el cepellón y midiendo hasta la parte más alta de la planta en ese momento, lo que determinó su altura.
- **Número de hojas:** Se contabilizaban las hojas verdes presentes en las plantas, excluyendo los cotiledones.
- **Peso de la planta:** Se pesaron cinco plantas seleccionadas al azar de cada sistema, tanto al inicio del trasplante como al final de la cosecha.

- Anomalías o carencias: Las plantas fueron examinadas periódicamente a lo largo de todo el proyecto para observar y registrar cualquier anomalía o carencia que pudiera presentarse.

Figura 15

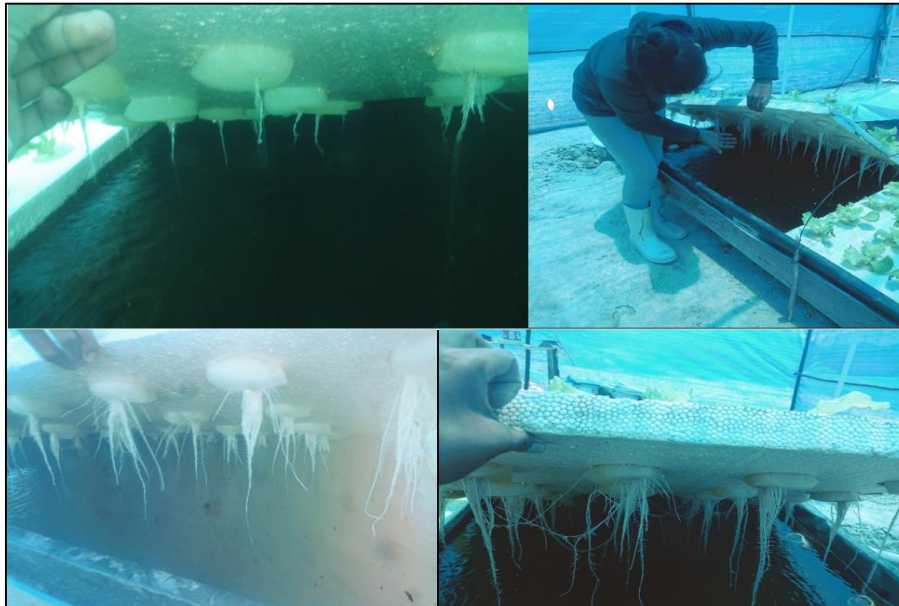
Toma de datos de las plantas (peso y talla inicial) y trasplante



Nota: Elaboración propia, (2018).

Figura 16

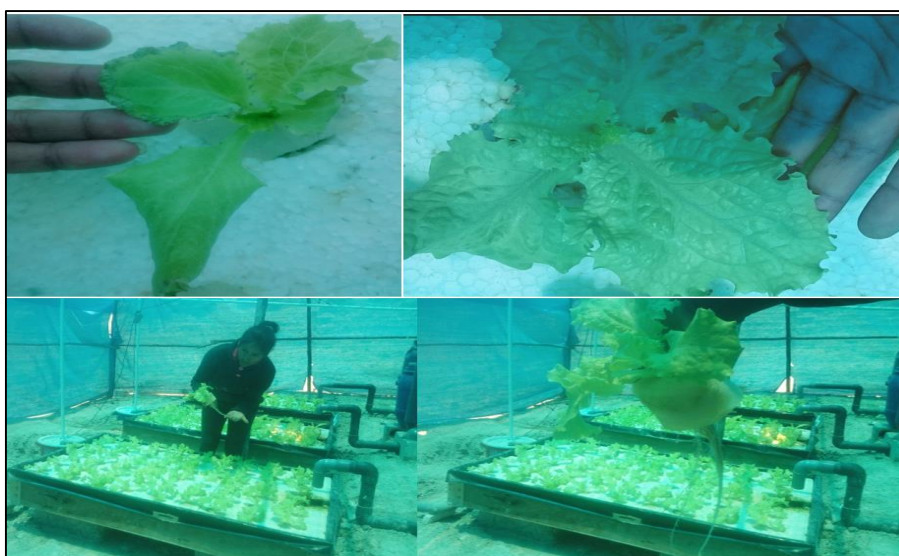
Verificación del crecimiento de las raíces de las lechugas.



Nota: Elaboración propia, (2018).

Figura 17

Verificación y monitoreo de las hojas de las lechugas.



Nota: Elaboración propia, (2018).

3.6.5. Operaciones en relación a los parámetros en el sistema acuapónico

Para asegurar el óptimo funcionamiento del sistema acuapónico, es fundamental mantener un equilibrio entre las distintas poblaciones de peces, plantas y bacterias. Para lograrlo, es necesario realizar un análisis periódico de diversos parámetros del agua en el circuito.

Diariamente, se registró la temperatura del agua en el tanque de peces, así como los niveles de pH y oxígeno. Además, una vez a la semana se llevaron a cabo análisis de amonio/amoniaco, nitritos y nitratos.

Con una frecuencia de dos veces por semana, aproximadamente, se realizó el bombeo de agua desde la laguna, 10% para cada una de los sistemas acuapónicos, para reponer el agua que sufrían pérdidas por: evaporación, transpiración y para el recambio de agua cuando los niveles de nitratos superaron lo óptimo. En todo el proceso experimental del proyecto, las mayores pérdidas de agua se produjeron por evaporación, transpiración y recambio.

- **Temperatura:** la temperatura del tanque de peces se registró diariamente tres veces al día, en horarios de 8:00 am, 12:00 m y 4:00 pm, utilizando termómetro en canastilla, los mismos se apuntaron en el cuaderno de registro de datos, como se puede visualizar en la figura 18.
- **Oxígeno:** Se realizó diariamente, se tomó una pequeña muestra de agua del tanque de peces y en un recipiente de cristal se añadió reactivo del O₂ “JBL

Testlab”, luego tapando se agita por 30 segundos, finalmente se midió como visualiza en la figura 19.

- ***pH:*** Se tomó una pequeña cantidad de agua del tanque de peces y en un recipiente de cristal se añadió el reactivo del pH “JBL Testlab” dejarlo por 3 minutos, medir con la tabla como se puede visualizar en la figura 20.
- ***Amonio/amoniaco NH_4/NH_3 :*** Para medir el NH_4/NH_3 diariamente, se tomó 5 ml de muestra de agua del tanque de peces y en un recipiente de cristal se añadió los reactivos del amonio “JBL Testlab” dejando reposar por 15 minutos, luego, se corrobora con la tabla, como se puede visualizar en la figura 21, (el amoniaco es tóxico para los peces).
- ***Medición del nitrito NO_2 :*** Se tomó 5 ml de muestra de agua del tanque de peces y en un recipiente de cristal se añadió los reactivos del nitrito “JBL Testlab” agitarlo y dejando reposar por 3 minutos, medir con la tabla como se puede visualizar en la figura 21, (NO_2 tóxico para los peces).
- ***Medida de los nitratos NO_3 :*** Se tomó una pequeña muestra de agua del tanque de peces y en un recipiente de cristal se añadió los reactivos del nitrato “JBL Testlab” agitarlo y dejando reposar por 10 minutos, medir con la tabla como se puede visualizar en la figura 21.

Figura 18

Medición de la temperatura del sistema acuapónico.



Nota: Elaboración propia, (2018).

Figura 19

Medición del oxígeno del sistema acuapónico.



Nota: Elaboración propia, (2018).

Figura 20

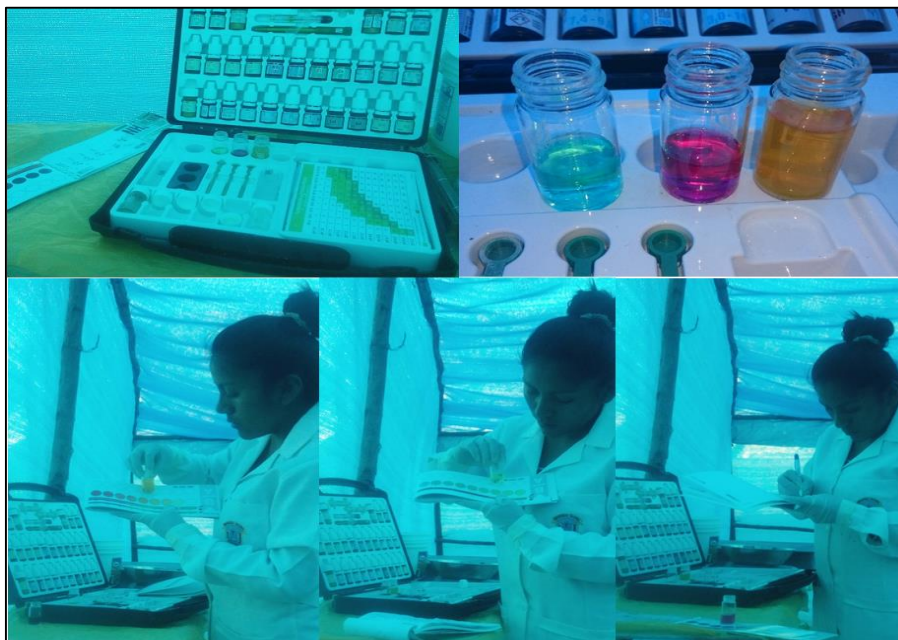
Medición del pH del sistema acuapónico.



Nota: Elaboración propia, (2018).

Figura 21

Medición del (NH_4/NH_3 , NO_2 y NO_3) del sistema acuapónico y registro



Nota: Elaboración propia, (2018).

3.6.6. Operaciones de mantenimiento

Para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación acuapónica, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- * *Control de fugas:* Se inspeccionaron cuidadosamente todas las tuberías, piezas y depósitos de los sistemas acuapónicos para asegurar que no hubiera fugas. En caso de detectar alguna, se realizaron reparaciones rápidas para evitar resultados negativos en el sistema.
- * *Control de caudales:* Se realizó un ajuste en las llaves de paso de las camas hidropónicas, con el objetivo de mantener un caudal uniforme en cada una de ellas.
- * *Control de energía:* Se verificó el adecuado funcionamiento del equipo generador de energía. Esto es crucial, ya que una interrupción en el funcionamiento de las bombas que retornan el agua a los tanques de peces podría provocar el vaciado del estanque, lo que a su vez ocasionaría el desbordamiento del tanque de acopio y pérdidas de agua en el sistema.
- * *Atascos y control de microalgas:* Se supervisó el estado de las tuberías y mangueras para asegurar que estuvieran despejadas y permitieran el flujo adecuado del agua. Uno de los problemas identificados fue la aparición de microalgas, para lo cual se utilizaron cobertores plásticos en los estanques, impidiendo la entrada de luz ultravioleta y así evitando su crecimiento, lo cual también se aplicó en las camas hidropónicas.

- * *Control de niveles:* Se marcó una escala en el colector de cada sistema para facilitar el control del nivel de agua.
- * *Limpieza del perlón atrapa sólidos:* Este material, ubicado en la entrada del colector decantador, se limpiaba semanalmente en un fregadero con abundante agua cuando adquiría un color oscuro.
- * *Limpieza de sólidos del tanque:* Esta limpieza se realizaba diariamente, aproximadamente una hora después de haber suministrado el alimento, mediante un sifoneado efectivo.

3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En esta investigación, se emplearon dos técnicas directas: la observación y la experimentación.

Para la recopilación de datos del experimento, se utilizaron varias herramientas específicas. Entre ellas, las fichas que pueden consultarse en el Anexo 9, las cuales corresponden al control de alimentos, y las del Anexo 3, que se dedicaron al control de los parámetros del agua.

Además, se emplearon los siguientes instrumentos: la ficha de producción (Anexo 4), que facilitó el registro de los pesos y tallas de los peces evaluados; la ficha de control de alimentos (Anexo 9), que permitió llevar un seguimiento del alimento proporcionado; y las fichas de control de calidad de agua (Anexos 7 y 8), donde se anotaron las variables fisicoquímicas obtenidas del sistema.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La presente tesis de investigación, nos muestra los resultados que se describen a continuación.

4.1. Talla y peso de los peces

En las tablas 8 y 9, se presentan los resultados de crecimiento, tanto en talla como en peso inicial y final, en relación con el comportamiento productivo observado en los tres tratamientos y sus respectivas repeticiones de densidades de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) estudiadas.

Tabla 8

Comportamiento productivo en la producción de trucha, en talla (cm) final en estudio.

Tratamientos	T1			T2			T3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Talla inicial (cm)	12,2	12,6	12	12,2	12,2	12,2	12,2	11,9	12,7
Talla final (cm)	24,0	23,8	24	23,4	23,2	23,9	22,6	23,3	23,4
Talla promedio (cm)		24			23,5			23	
Ganancia de Talla (cm)	11,9	11,2	12	11,2	11	11,8	10,4	11,4	10,7
Ganancia de Talla promedio (cm)		11,7			11,3			10,8	

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 9

Comportamiento productivo en la producción de trucha, en peso (g) final y biomasa (kg) en estudio.

Tratamientos	T1			T2			T3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Tipo De Evaluación									
Peso inicial (g)	40	38,8	41	37,6	40	41,6	39,6	39,6	37,6
Peso final (g)	141,8	140,4	142,6	126,6	133	135,4	117	130,6	139,4
Promedio peso final (g)		142			132			129	
Ganancia de peso (g)	101,8	101,6	101,6	89	93	93,8	77,4	91,0	101,8
Ganancia de Peso promedio (g)		102			92			90	
Biomasa inicial (kg) promedio	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Biomasa final (kg)	3,97	3,23	3,57	4,18	4,39	3,66	4,10	4,83	5,30
Promedio biomasa final (kg)		3,6 (2,1)			4,1 (2,6)			4,7 (3,2)	
Ganancia de biomasa (kg)	2,47	1,73	2,07	2,68	2,89	2,16	2,6	3,33	3,8

Nota: Elaboración propia, (2019).

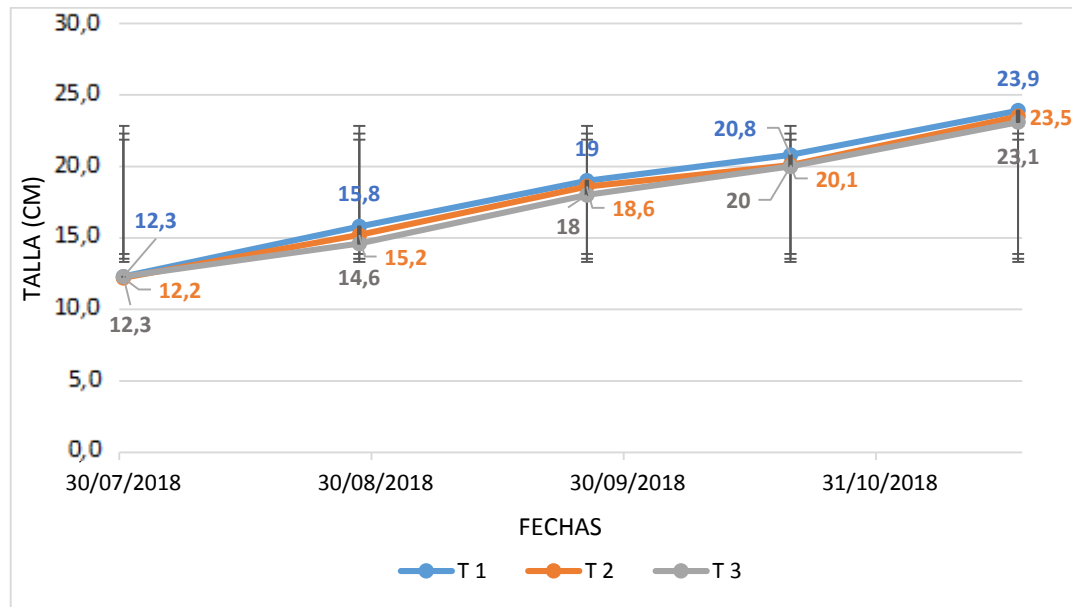
Según los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, en las tablas 8 y 9, el T1 mostró mayor crecimiento en talla con 24 cm, comparados con T2 los cuales alcanzaron una talla de 23,5 cm y T3 alcanzo 23 cm, Según la prueba de Tukey si presenta diferencia significativa ($P \leq 0,05$). En el peso no presenta diferencia significativa ($P \geq 0,05$), el mayor rendimiento mostro el T1 con 142 g, comparado con el T2 con 132 g y T3 con 129 g. Con respecto al rendimiento en biomasa entre los tratamientos, es evidente la diferencia significativa ($P \leq 0,05$), es así como se muestra la biomasa final en

el T1 3,6 kg con una ganancia de 2,1 kg, en el T2 4,1 kg con una ganancia de 2,6 kg y en el T3 se obtuvo 4,7 kg con una ganancia de 3,2 kg.

Dekovic (2015) señala que, para determinar las proyecciones de crecimiento de un lote específico de peces, es fundamental relacionar diversas variables que impactan directamente en su desarrollo, siendo la temperatura del agua la más relevante debido a su influencia en el metabolismo del pez. Por otra parte, Arellano (2020) documentó en su estudio que, en el tratamiento de acuaponía (Ap), la biomasa total en el estanque varió de 370,1 g a 539 g, lo que representa un aumento en la densidad del estanque de 3,7 a 5,4 kg/m³. En cuanto al tratamiento de sistemas de recirculación acuícola (RAS), la biomasa total del estanque fluctuó entre 348,3 g y 510,6 g, lo que se tradujo en un incremento de la densidad de 3,5 a 5,1 kg/m³. Asimismo, se registró un crecimiento medio de la longitud de los peces, pasando de 20,4 cm a 22,3 cm por individuo entre los tratamientos Ap y RAS. En la investigación titulada “Incremento de peso de truchas arcoíris cultivadas en el sistema acuapónico,” el peso promedio al inicio del experimento fue de $27,1 \pm 0,83$ g por pez. Después de tres semanas, los peces aumentaron su peso en 13,6 g, utilizando una tasa de alimentación del 1,44 % de su peso corporal, como indicaron Alcarraz *et al.*, (2018).

Figura 22

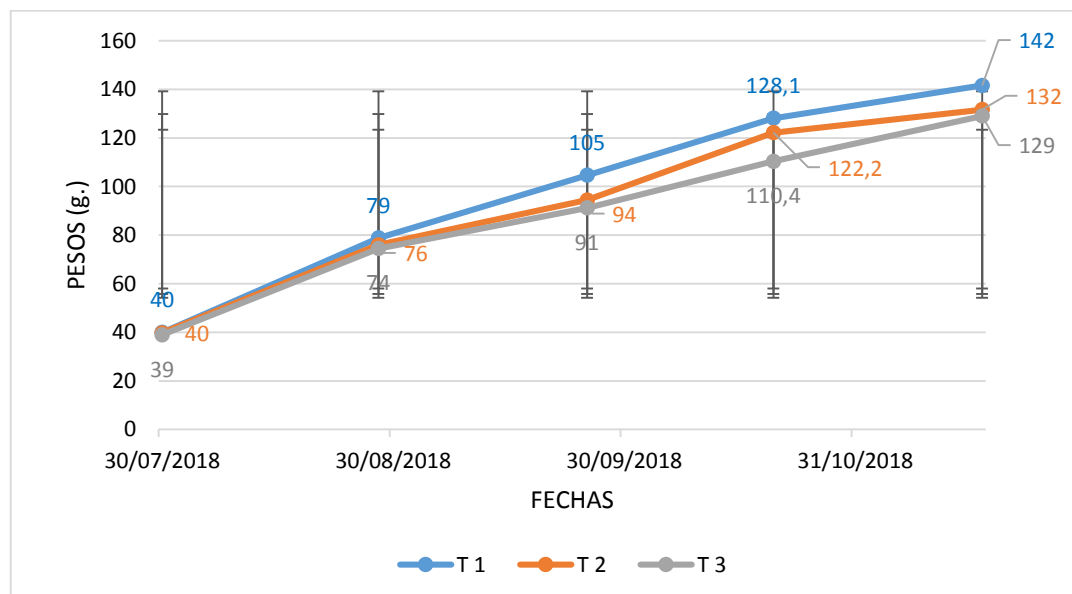
Curva de crecimiento exponencial de talla de la trucha arcoíris.



Nota: Elaboración propia, (2019).

Figura 23

Curva de crecimiento exponencial en peso promedio de la trucha arcoíris.



Nota: Elaboración propia, (2019).

En el presente proyecto de tesis, se observó un crecimiento ascendente y positivo en el tamaño y peso de los peces en los tres tratamientos a lo largo de todo el experimento. Sin embargo, el tratamiento 1 destacó por presentar el mayor incremento tanto en tamaño como en peso, como se puede apreciar en las figuras 22 y 23. Es notorio que el T1 alcanzó una longitud de 23,9 cm y un peso de 142 g. Por otro lado, aunque el T3 mostró un mejor rendimiento en cuanto a biomasa, los resultados fueron los siguientes: el T1 logró una biomasa de 3,6 kg con una ganancia de 2,1 kg, el T2 alcanzó 4,1 kg con una ganancia de 2,6 kg, y el T3 obtuvo 4,7 kg con una ganancia de 3,2 kg.

4.2. Tasa de alimentación y Factor de conversión alimenticia (FCA).

En la tabla 10 refleja los datos obtenidos del suministro de alimento diario a la trucha arcoíris en el sistema acuapónico, efecto de la biomasa de siembra sobre la tasa de alimentación diaria. Según la prueba de Tukey si presenta diferencia significativa ($P \leq 0,05$, entre los tres tratamientos; el suministro de mayor % tasa de alimentación es evidente que muestre el mejor crecimiento, sin embargo, en el factor de conversión alimenticia (FCA) no es la adecuada.

Tabla 10

Datos de alimento suministrado (g) diarias y total y factor de conversión alimenticia (FCA).

Tratamientos	Tasa de alimentación diaria (g.)									
	T1 (3%)			T2 (2.2)			T3 (1.5)			
	Repeticiones	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Suministro de alimento inicial (g.)/día	45,00	45,00	45,00	33,00	33,00	33,00	22,50	22,50	22,50	
Suministro de alimento final (g.)/día	103,50	91,50	96,60	87,00	88,70	70,80	55,00	59,70	65,20	
Incremento de alimento final (g.)	58,50	46,50	51,60	54,00	55,70	37,80	32,50	37,20	42,70	
Total, de alimento suministrado del periodo (g.)	8110	8117	8256	6685	6460	5700	4148	4572	4748	
Cantidad de alimento suministrado en el periodo (kg.)	8,11	8,12	8,26	6,68	6,46	5,70	4,15	4,57	4,75	
Ganancia de biomasa total en el periodo (kg.)	3,97	3,23	3,57	4,18	4,39	3,66	4,10	4,83	5,30	
FCA (Factor de conversión alimenticia)	2,0	2,5	2,3	1,6	1,5	1,6	1,0	0,95	0,9	
Promedio FCA		2,3			1,6			0,95		

Nota: Elaboración propia, (2019).

Se trabajaron tres tasas de alimentación para cada tratamiento: T1 (3%), T2 (2,2%) y T3 (1,5%), cada uno con tres repeticiones. El suministro de alimento inicial por día fue el siguiente: para T1 se asignaron 135 g, distribuidos en tres repeticiones de 45 g cada una; para T2: 99 g, repartidos en tres repeticiones de 33 g; y para T3: 67,5 g, distribuidos en tres repeticiones de 22,5 g. En cuanto al suministro

de alimento final por día, se registraron las siguientes cantidades: T1 recibió 291,6 g, distribuidos entre las tres repeticiones; T2: 246,50 g; y T3: 179,90 g, también distribuidos en tres repeticiones. Finalmente, la cantidad total de alimento suministrado durante el periodo experimental fue: para T1, 24,49 kg, repartidos en las tres repeticiones; para T2, 18,84 kg; y para T3, 13,47 kg.

El presente trabajo de investigación presenta los resultados del coeficiente de aprovechamiento (FCA) alcanzados en las distintas etapas. Para el primer trimestre (T1) se obtuvo una relación de 2,3, mientras que en el segundo trimestre (T2) fue de 1,6. En cuanto al tercer trimestre (T3), se registró un resultado de 1. Este último indicador se encuentra dentro del rango considerado adecuado por Merino y Von-Brand (2015), quienes establecieron que un FCA adecuado debería estar en ese intervalo.

Según Morales, (2019), indicó que los peces generalmente presentan un FCA de 1,2 a 1,8 y según el Arellano, (2020), respecto al FCA no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos al término del ensayo registrando $1,28 \pm 0,16$ en Ap (acuaponía) y $1,37 \pm 0,25$ en Hp (hidroponía). Sin embargo, Alcarraz *et al.*, (2018), indicaron que el factor de conversión alimenticia (FCA) de los peces fue de 0,74, en su trabajo de investigación. Así mismo, en un ensayo realizado por Akbulut, *et al.* (2002), en donde evaluaron el efecto del peso inicial de truchas arcoíris en la tasa de crecimiento, encontraron que las truchas de un peso inicial de 118,6 g obtuvieron una FCA de 1,65, a diferencia de las truchas cuyo peso inicial fue de 52,2 g, que obtuvieron un FCA de 1,37.

4.3. Mortalidad y Supervivencia de peces

La siguiente tabla 11, muestra los resultados del porcentaje de supervivencia observados en los tratamientos de sistema acuapónico de trucha arcoíris, en estadio juvenil.

Tabla 11

Mortalidad y supervivencia de trucha arcoíris en los sistemas acuapónicos.

	% DE LA MORTALIDAD								
	T1			T2			T3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
N° de peces al inicio	38	39	37	40	38	36	38	38	38
N° de peces al final	28	23	25	33	33	27	35	37	38
N° de peces muertos	10	16	12	7	5	9	3	1	1
% de mortalidad	26,3	41,0	32,4	17,5	13,2	25,0	7,9	2,6	2,6
% de mortalidad		33,3			18,6			4,4	
% de supervivencia		66,7			81,4			95,6	

Nota: Elaboración propia, (2019).

El efecto de la densidad de siembra sobre la supervivencia, según la prueba de Tukey si presenta diferencia significativa ($p < 0,05$), notándose que la supervivencia entre el T 1 y T 3.

En relación con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación sobre los sistemas acuapónicos, se inició el experimento con una densidad de siembra de 1,5 kg de peces por cada estanque de 1 m³. En este contexto, los resultados

fueron los siguientes: el grupo T1 presentó un 66,7 % de supervivencia y un 33,3 % de mortalidad; el grupo T2 alcanzó una supervivencia del 81,6 % y una mortalidad del 18,4 %; y, por último, el grupo T3 destacó con un notable 95,7 % de supervivencia y únicamente un 4,3 % de mortalidad. Esto posiciona al T3 como el grupo con el mejor resultado, reflejando una supervivencia del 95,7 % y una mortalidad del 4,3 %.

Por otro lado, un estudio realizado por Carranza *et al.* (2021) reportó una tasa de mortalidad total de peces del 7,1 % a lo largo de toda la etapa de investigación. En contraste, Carbó (2009) indicó una tasa de mortalidad del 4,9 % en un sistema que era exclusivamente acuícola, y Arellano, (2020), en su trabajo de investigación “Comparación productiva entre sistemas acuapónicos e hidropónicos a partir de la combinación de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y acelga (*Beta vulgaris var. cicla*)” alcanzó una supervivencia del 100 %, con respecto a la mortalidad de los individuos (peces). Según Waynarovich *et al.* (2011), se observó una mortalidad normal del 5 % en truchas arcoíris con un peso superior a 25 g, durante un periodo de cultivo de 4 a 6,5 meses en un sistema acuícola tradicional. Por otro lado, el estudio realizado por Velichkova *et al.* (2019) mostró resultados más optimistas, con una tasa de supervivencia del 97,5 % al combinar trucha arcoíris con lechuga.

4.4. Crecimiento de las lechugas

La tabla 12 presenta los resultados del crecimiento de las plantas en un sistema acuapónico que produce truchas y lechugas usando la técnica DFT.

Tabla 12

Registro de resultados del crecimiento de las lechugas observados en los 3 tratamientos.

Tratamientos	Ganancia de Peso y talla									
	T1			T2			T3			
	Repeticiones	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Talla inicial (cm)	6,5	6	6,3	6,5	6	6,2	6,5	6,5	6,8	
Talla final (cm)	23	21	21	20	20,8	20,6	23,5	23,4	23,9	
promedio de Talla final (cm)		21,7			20,5			23,6		
Ganancia de talla (cm)	16,5	15	14,7	13,5	14,8	14,4	17	16,9	17,1	
Ganancia de Talla (cm) promedio		15,4			14,2			17,0		
N° de hojas inicial	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3
N° de hojas final	15	15	16	15	18	18	16	17	17	
Ganancia de N° de hojas	12	12	13	11	15	15	13	14	14	
Ganancia de N° de hojas promedio		15			17			17		
Peso inicial (kg)	2.5	2.3	2.5	2.5	2.4	2.6	2.4	2.5	2.5	
Peso final (kg)	110	106	105	98	106	112	115	122	118	
Ganancia de peso (kg)	107,5	103,7	102,5	95,5	103,6	109,4	112,6	119,5	115,5	
Ganancia de peso (kg) promedio		104,6			10,8			115,9		

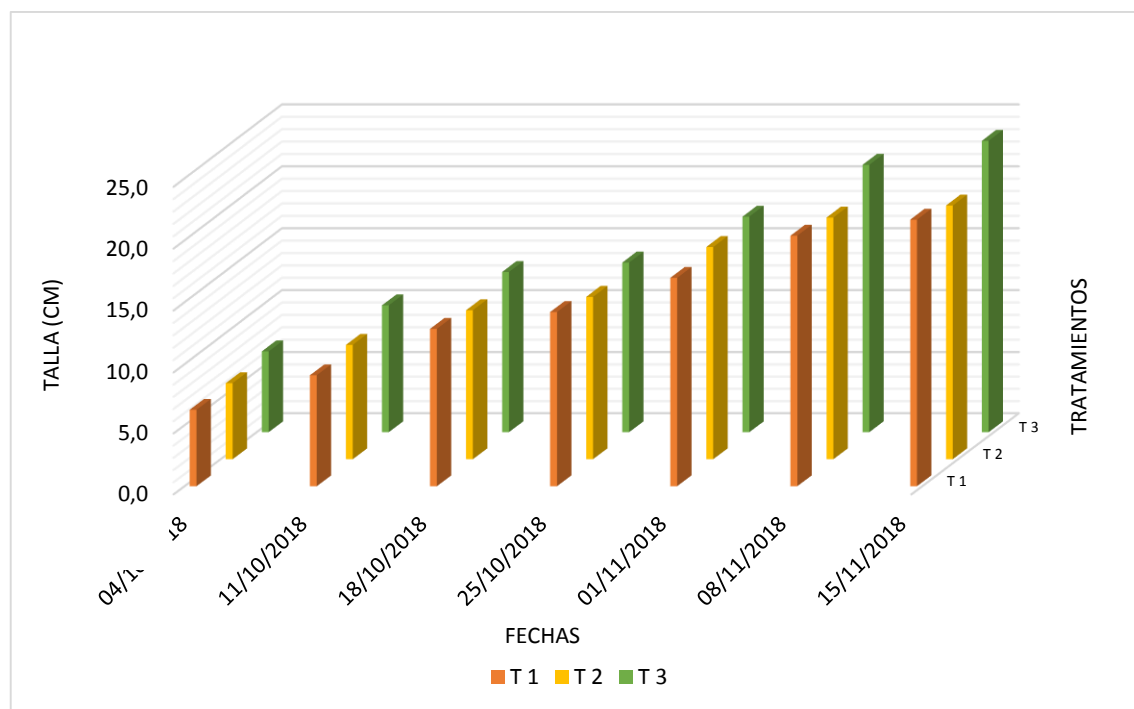
Nota: Elaboración propia, (2019).

El impacto del índice de crecimiento de las lechugas (*Lactuca sativa sp*), de acuerdo con el test de Tukey, señala que si existe una diferencia considerable ($P < 0,05$) entre los tres tratamientos.

Los índices de crecimiento de las plantas calculados mostraron una variación significativa respecto al de los peces. Según los resultados obtenidos, se demuestra que el crecimiento fue superior en el T3 debido a la proliferación de las bacterias. Sus fórmulas se fundamentan en las tallas medias iniciales y finales. A continuación, el T1 muestra un resultado aceptable, en contraposición al T2, (figura 24)

Figura 24

Curva de los resultados en relacionados al índice de crecimiento de las plantas observados en el experimento



Nota: Elaboración propia, (2019).

Este trabajo demuestra que los tres tratamientos se introdujeron en el sistema acuapónico con una longitud inicial promedio de 6,4 cm. Al finalizar el ciclo,

se registraron las siguientes longitudes promedio: en el tratamiento T1, se alcanzó una longitud de 21,7 cm junto con un promedio de 15 hojas; en T2, la longitud fue de 20,5 cm, con un promedio de 17 hojas; y, en T3, se obtuvo una longitud de 23,6 cm, también con un promedio de 17 hojas. Estos resultados indican que el tratamiento T3 produjo la mayor cantidad de lechugas.

De acuerdo con el estudio de Hernández (2017), titulado “Evaluación de sistema acuapónico tradicional y de doble recirculación para cultivo de tilapia-lechuga”, se detalla que la altura inicial de la lechuga cressa fue de 4. 81 cm en el sistema acuapónico tradicional y de 4,91 cm en el sistema de doble recirculación. Tras 45 días de cultivo, la longitud final total fue de 8,44 cm y 14,81 cm, respectivamente, lo que evidenció un crecimiento reducido en las plantas del sistema tradicional, que alcanzaron una altura promedio final de 8,45 cm. En ambos cultivos, las lechugas ingresaron con un promedio de tres hojas verdaderas, y durante el período de cultivo de 45 días, se observó que en el primer cultivo el promedio de hojas fue de 8, mientras que, en el segundo cultivo, la cantidad promedio de hojas alcanzó las 16.

En la investigación realizada por Carranza *et al.* (2021), titulada "Evaluación de propiedades físicas de las plantas", se observó que, en el cultivo de lechuga, el crecimiento de hojas fue más prominente en los tratamientos T4, T6 y T10, con longitudes que alcanzaron los 28,5 cm, 28,5 cm y 31,5 cm, respectivamente. El tratamiento T6 destacó al presentar la mayor longitud de hoja, con un notable registro de 31,5 cm. En cuanto al número de hojas por planta, el tratamiento T4 sobresalió al

lograr un promedio de 38 hojas por planta. Por el contrario, el tratamiento T5 mostró el menor número, con solo 31 hojas por planta.

4.5. Calidad de agua

La calidad del agua es un aspecto fundamental en este trabajo, ya que el agua es la sangre que sostiene la vida de un sistema acuapónico. A través de ella se transportan los nutrientes esenciales para las plantas y el oxígeno necesario para los peces. Por esta razón, es crucial comprender este tema para garantizar una gestión adecuada. Existen seis parámetros esenciales a considerar para evaluar la calidad del agua: Temperatura (T °C), Oxígeno disuelto (D. O.), pH, Amonio (NH_4 mg/l), Nitrito (NO_2 mg/l) y Nitrato (NO_3 mg/l). Todas estas variables influyen en los tres organismos que componen el sistema: peces, plantas y bacterias.

A continuación, se muestra en la Tabla 13 los datos recopilados sobre los parámetros de Temperatura (°C), Oxígeno disuelto, pH, Amonio, Nitrito y Nitrato, que fueron observados a lo largo del proceso experimental de la tesis.

Las tolerancias generales de calidad del agua para peces de agua fría, plantas hidropónicas y bacterias nitrificantes son las siguientes: la temperatura debería oscilar entre 10 y 18 °C, el pH debe estar en un rango de 6 a 8,5, y el total de amoníaco = < 1mg/l, nitratos = < 0,1mg/l, nitratos = < 400 mg/l y oxígeno disuelto = 6 a 8), Somerville y FAO, (2015).

Tabla 13

Resultado de parámetros físico - químicos: T°C, O.D., PH, NH₃, NO₂ y NO₃ del agua

Tratamientos	T1						T2						T3					
	Fechas del muestreo	T (°C)	O.D (mg/l)	pH	NH ₄ mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T (°C)	O.D (mg/l)	pH	NH ₄ mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	T (°C)	O.D (mg/l)	pH	NH ₄ mg/l	NO ₂ mg/l
30/07/2018	14	7,0	7,0	0,0	0	0,0	15	7,0	7,0	0,0	0	0	14	7,0	7,2	0,2	0	0
2/08/2018	15	7,0	7,0	0,6	<0,01	<0,5	14	7,3	7,0	0,4	<0,01	<0,5	14	7,0	7,2	1	<0,01	<0,5
8/08/2018	15	6,7	7,2	2,7	<0,01	<0,5	15	6,7	6,8	1,5	<0,01	<0,5	15	6,3	7,3	2	<0,01	<0,5
13/08/2018	14	6,3	7,2	4,7	<0,02	<0,5	14	7,0	7,5	2,7	<0,01	<0,5	14	6,7	7,3	5	<0,01	<0,5
19/08/2018	15	6,7	7,5	5,0	<0,025	<0,5	14	7,3	7,5	4,7	<0,015	<0,5	14	6,7	7,3	5	0,2	0,8
23/08/2018	15	8,0	8,3	8,0	<0,026	<0,5	15	8,0	8,0	8,0	<0,025	<0,5	15	8,0	8,0	3	0,2	1
27/08/2018	14	6,7	7,8	8,0	0,2	2,0	14	6,7	8,3	6,3	0,1	1	14	6,0	8,5	2	0,6	15
3/09/2018	16	7,0	7,5	7,0	0,6	10,0	16	6,7	7,5	5,0	0,4	9	15	6,0	7,5	1	0,7	60
8/09/2018	16	7,0	8,0	4,7	0,8	40,0	16	7,3	7,8	4,0	0,8	47	15	7,0	8,0	0,9	0,9	80
15/09/2018	17	6,8	7,7	1,5	1	60,0	16	6,7	7,8	4,5	1	80	16	6,0	7,8	0,8	1	100
22/09/2018	16	6,0	7,5	1,0	1	80,0	16	6,0	7,7	2,2	1	90	16	7,0	7,8	0,6	1	160
30/09/2018	16	6,0	7,7	0,4	1	86,7	16	6,0	7,8	1,1	1	123	16	7,0	7,8	0,4	1	127
6/10/2018	16	6,0	7,7	0,4	0,8	73,3	17	5,7	7,8	0,4	1	127	17	6,0	7,8	0,3	1	90
10/10/2018	17	6,0	7,5	0,3	0,8	53,3	17	6,0	7,4	0,3	1	100	17	6,0	7,6	0,2	0,9	50
17/10/2018	18	6,3	7,6	0,8	0,6	36,7	18	6,3	7,6	0,7	0,8	40	18	6,0	7,5	0,2	0,8	33
24/10/2018	18	5,3	7,6	0,2	0,6	23,3	18	6,0	7,6	0,2	0,8	30	18	6,0	7,5	0,2	0,6	27
31/10/2018	17	7,3	7,5	0,2	0,6	23,3	17	7,0	7,6	0,2	0,6	30	17	8,0	7,5	0,2	0,5	23
7/11/2018	18	6,0	7,5	0,2	0,6	30,0	18	6,3	7,5	0,1	0,6	30	18	5,0	7,6	0,1	0,6	30
14/11/2018	18	6,0	7,7	0,2	0,6	30,0	18	6,0	7,7	0,1	0,6	27	18	7,0	7,6	0,1	0,5	27

Nota: elaboración propia de la investigación, (2019)

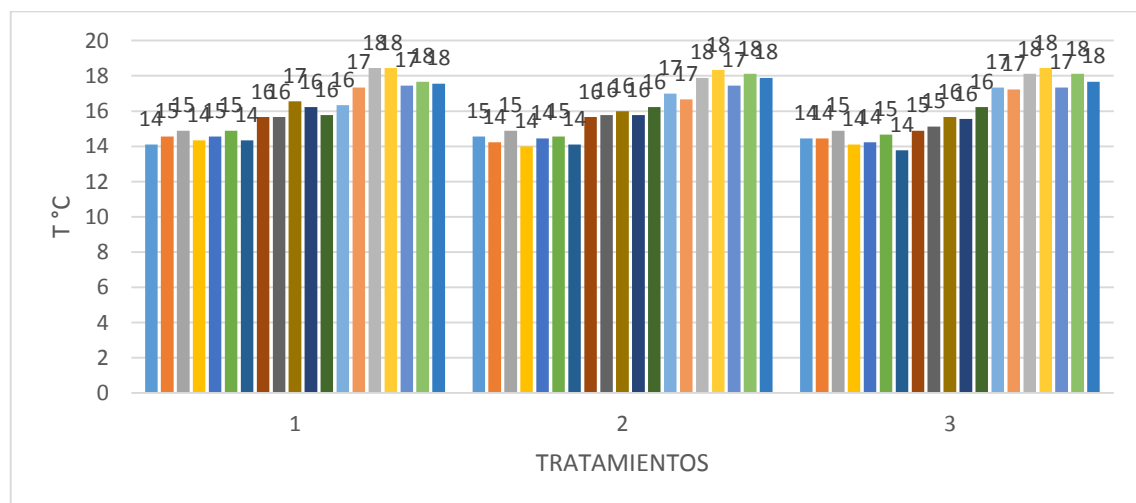
4.5.1. Temperatura (°C)

En efecto del comportamiento de la temperatura durante proceso de experimentación, del proyecto tesis, según la prueba de tukey nos indica que no presenta diferencia significativa entre los tres tratamientos ($P \geq 0,05$).

La figura 25, ilustra el comportamiento de la temperatura a lo largo de todo el período experimental correspondiente a los tratamientos T1, T2 y T3. Durante el desarrollo del estudio, estos tratamientos mostraron un comportamiento similar, fluctuando entre 14°C y 18°C. Las variaciones observadas son relativamente pequeñas, lo que indica una notable estabilidad térmica dentro de un rango limitado. Las diferencias entre los tres tratamientos son mínimas y están íntimamente interrelacionadas, respondiendo de manera comparable a las fluctuaciones ambientales.

Figura 25

Comportamiento de la temperatura observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.



Nota. Elaboración propia, (2019).

García (2012) señala que la temperatura del agua es el factor más influyente en el crecimiento de los peces. Flores y Yapuchura (2016) recomiendan monitorear esta variable al menos tres veces al día, incluso antes de suministrar el alimento, lo que puede ayudar a predecir el crecimiento de las truchas.

En el transcurso de esta investigación, se ha observado que el intervalo de temperatura oscila entre un mínimo de 12°C y un máximo de 19°C. Esta variación es coherente con las observaciones de Reyes *et al.* (2020), quienes establecieron que el rango óptimo de temperaturas para los sistemas acuapónicos se sitúa entre 17°C y 30°C. También señalaron que, en el ámbito de la acuicultura, el rango ideal abarca entre 5°C y 32°C. Por otro lado, para el proceso de nitrificación, el intervalo óptimo se encuentra entre 17°C y 34°C, mientras que en hidroponía se sugiere un rango de 18°C a 30°C. Además, hicieron hincapié en que temperaturas extremas, ya sean muy bajas o muy altas, pueden aumentar el riesgo de enfermedades en los peces.

Asimismo, Arellano (2020), en su ensayo experimental, registró temperaturas medias de 13,2°C, 14°C y 19°C para los tratamientos RAS, Ap y Hp, respectivamente. Por su parte, Delaide (2017) indicó que las condiciones ideales para la producción acuapónica se sitúan en un rango de temperatura de 15°C a 22°C.

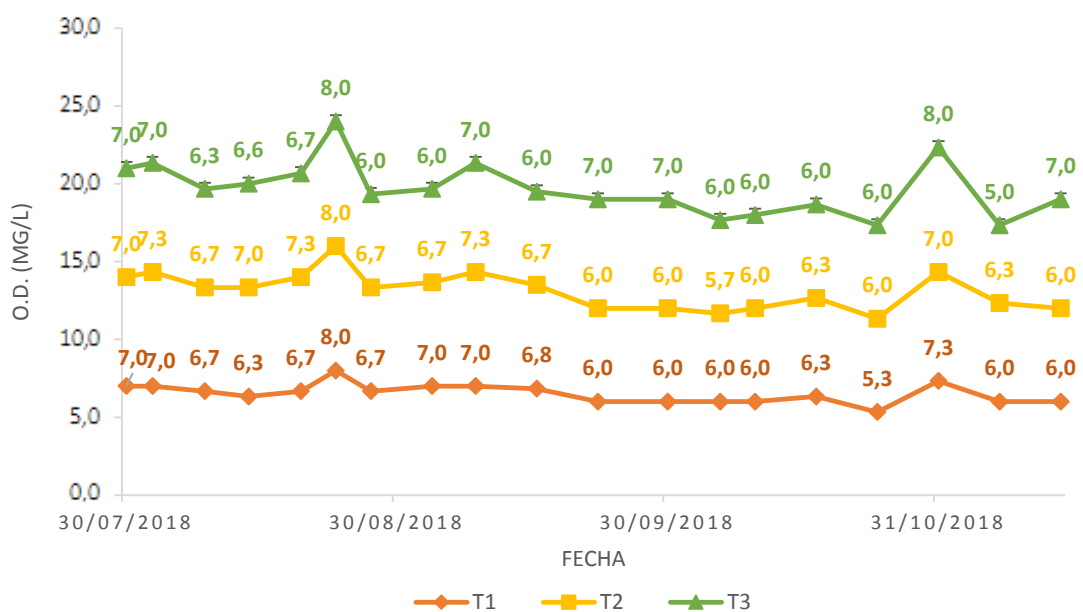
4.5.2. Oxígeno disuelto (O.D.)

Se estudiaron los niveles de oxígeno disuelto (mg/l) durante el proceso experimental de acuaponía, los resultados de la prueba de Tukey mostraron que no hay diferencias significativas ($P \geq 0,05$), entre los tres tratamientos analizados en el de investigación.

La figura 26 revela el comportamiento oxígeno disuelto durante el periodo experimental, en los 3 tratamientos; no se observa una diferencia significativa entre los T1, T2 y T3, el T3 a las ultimas semanas llego a registrar en O.D. más bajo de 5,0 mg/l, debido a que también las temperaturas se han incrementado.

Figura 26

Comportamiento del Oxígeno Disuelto observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.



Nota. Elaboración propia, (2019).

En esta investigación se observa que el rango de oxígeno disuelto varía entre 6 y 8 mg/l en los tres tratamientos analizados, a excepción del tratamiento T3, que registró un valor de 5 mg/l en la última semana. Estos niveles se encuentran dentro de los rangos óptimos para el crecimiento de plantas, bacterias y peces, como indica Somerville *et al*, (2014). Asimismo, Reyes *et al*, (2020) señalaron que, en el contexto de la acuicultura, el rango ideal de oxígeno disuelto se sitúa entre 4 y 5 mg/L. En cuanto al proceso de nitrificación, el intervalo óptimo abarca de 4 a 8 mg/L, mientras que en hidroponía se sugiere mantener un rango superior a 3 mg/L. También se destacó que niveles de oxígeno disuelto muy bajos pueden provocar la muerte de las raíces de las plantas y el crecimiento de ciertos hongos, además de que los peces dejan de alimentarse y las bacterias interrumpen el proceso de nitrificación. En un estudio realizado por Petrea *et al*, (2013), que también tuvo en cuenta una caída gravitacional del agua, pero en un sistema de mayor volumen total (2,5 m³), se reportó una concentración de oxígeno disuelto de 7,3 mg/L.

4.5.3. pH

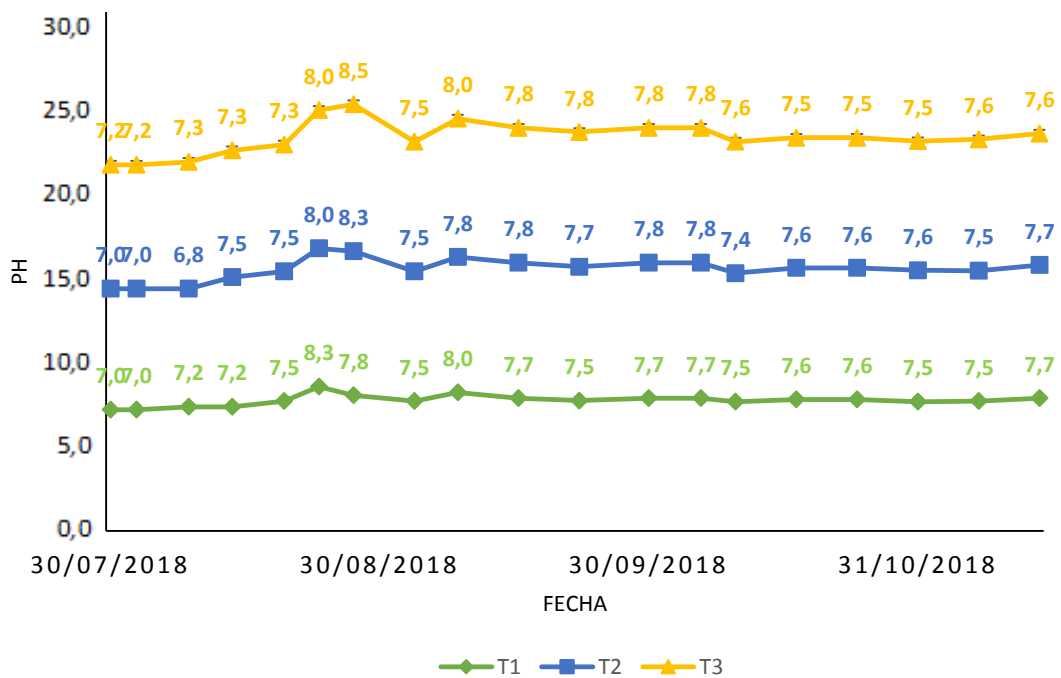
Durante el experimento en el sistema acuapónico, se midió el pH en tres tratamientos. Los resultados mostraron que hay una diferencia notable entre al menos dos de los tratamientos en cuanto a este parámetro.

La figura 27 revela que el análisis muestra que el Tratamiento 1 presenta una media significativamente más baja en comparación con los Tratamientos 2 y 3. Por otro lado, no se observa una diferencia significativa entre los Tratamientos 2 y

3. Esto sugiere que el Tratamiento 1 impacta de manera diferente la variable "pH" en relación con los otros dos tratamientos, según prueba de Tukey indica que si hay diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 27

Comportamiento del pH observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.



Nota. Elaboración propia, (2019).

En la presente investigación se ha observado que el rango de pH varía entre 6 y 8,5 en los tres tratamientos analizados. Este comportamiento es similar al reportado por Braun et al., (2010), quien registró un rango de 6,5 a ,9, y por Näslund *et al.* (2017),

que reportaron valores más altos, entre 7,4 y 7,8. Por otro lado, Condori, (2019) encontró un pH de 6,8 en su estudio.

Adicionalmente, Reyes *et al.* (2020) indicaron que, en el ámbito de la acuicultura, el rango ideal de pH se encuentra entre 6,5 y 9,5. En lo que respecta al proceso de nitrificación, el intervalo óptimo oscila entre 7,0 y 9,0, mientras que en hidroponía se recomienda mantener un rango de 4,5 a 7,0;. Es importante señalar que los niveles bajos de pH pueden reducir la tasa de reproducción de los peces, así como provocar lesiones en las raíces y causar deficiencias nutricionales en las plantas. Asimismo, un pH elevado también puede resultar en deficiencias de nutrientes para las plantas. Mientras que Delaide, (2017), indicaron que en la producción de acuaponía las condiciones ideales de cultivo son con un (pH =5,8 - 7.0).

4.5.4. Amonio (NH₄)

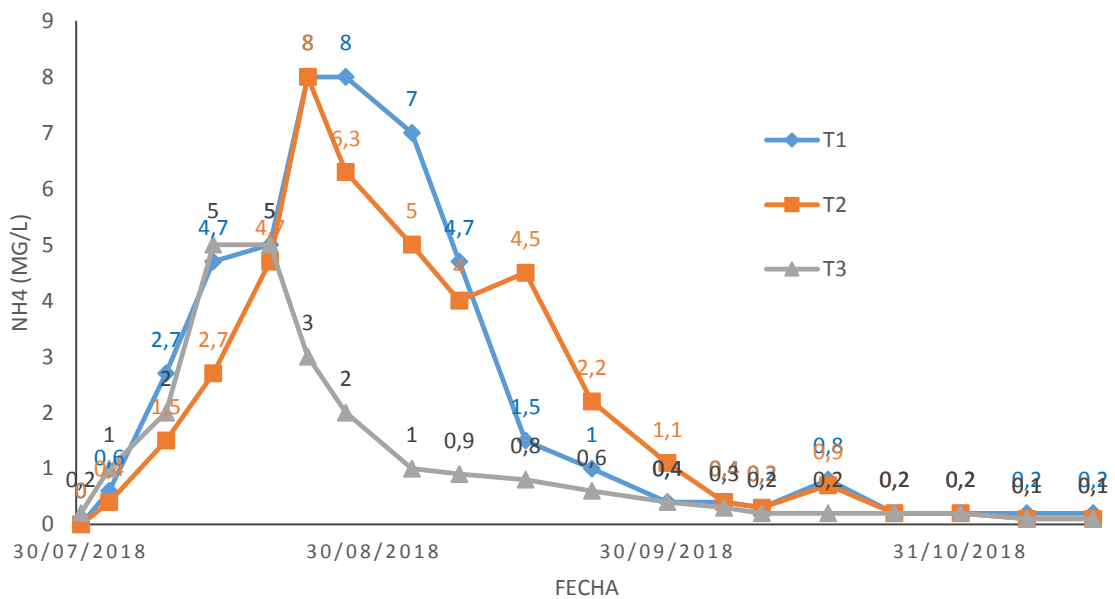
En el estudio sobre el parámetro de Amonio (NH₄) en un sistema acuapónico para producir truchas y lechugas usando la técnica DFT, se encontró un comportamiento significativo ($P \leq 0,05$). La prueba de Tukey mostró diferencias importantes entre los tratamientos analizados, especialmente entre T1 y T3, y entre T2 y T3.

La figura 28 muestra que los niveles de amonio fueron muy altos en un periodo experimental, debido a la actividad biológica de los peces. El tratamiento T1 tuvo el nivel más alto, seguido por T2 y T3. T1 mostró mayor producción de amonio al inicio, y luego T1 y T2 redujeron más rápidamente los niveles de amonio, mientras que T3 lo hizo más

lentamente. Al final, los niveles de amonio en los tres tratamientos fueron similares y bajos, cerca de 0 mg/l, lo que indica que el sistema es eficaz en eliminar el amonio.

Figura 28

Comportamiento del amonio (NH₄) observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.



Nota: Elaboración propia, (2019).

En esta investigación, se ha encontrado que el rango de nitrógeno total de amoníaco presenta variaciones significativas entre los distintos tratamientos. El tratamiento T1 mostró el nivel más alto, con un mínimo de 0,0 mg/l y un máximo de 8 mg/l. El tratamiento T2, que registró los mismos valores extremos: un mínimo de 0,0 mg/l y un máximo de 8 mg/l. Por su parte, el T3 evidenció un mínimo de 0,0 mg/l y un máximo de 5 mg/l. A pesar de las elevadas concentraciones de nitrógeno, no se observó

un impacto negativo en el crecimiento de los organismos, aunque sí se documentó mortalidad relacionada con estas condiciones, lo cual es importante señalar, ya que se debe a que las bacterias nitrificantes aún no se habían desarrollado. Las altas concentraciones se mantuvieron durante las tres primeras semanas del experimento, pero a partir de la cuarta y quinta semana, comenzaron a reducirse progresivamente, estabilizándose en un rango de 0,1 a 0,2 mg/l en los tres tratamientos. Al analizar estos resultados en comparación con investigaciones previas, los autores Somerville *et al.* (2014), indicaron que niveles de Nitrógeno amoniacal total (mg/l) para las especies acuáticas usadas en acuaponía, específicamente para la trucha arcoíris es <0,5 mg/l y FAO (2024), señala que el rango tolerable de amoníaco es < 3 mg/l, y deben mantenerse cerca de 0 mg/litro. Mientras que, Reyes *et al.* (2020), indicaron que, en el ámbito de la acuicultura, el rango ideal de Nitrógeno total de amoníaco se encuentra entre 0 - 2 mg/L, en lo que respecta al proceso de nitrificación, el intervalo óptimo oscila entre < 3 mg/l, mientras que en hidroponía se recomienda mantener un rango de < 30 mg/l; es importante señalar que los niveles altos amoníaco (NH₄) es altamente tóxico para los peces.

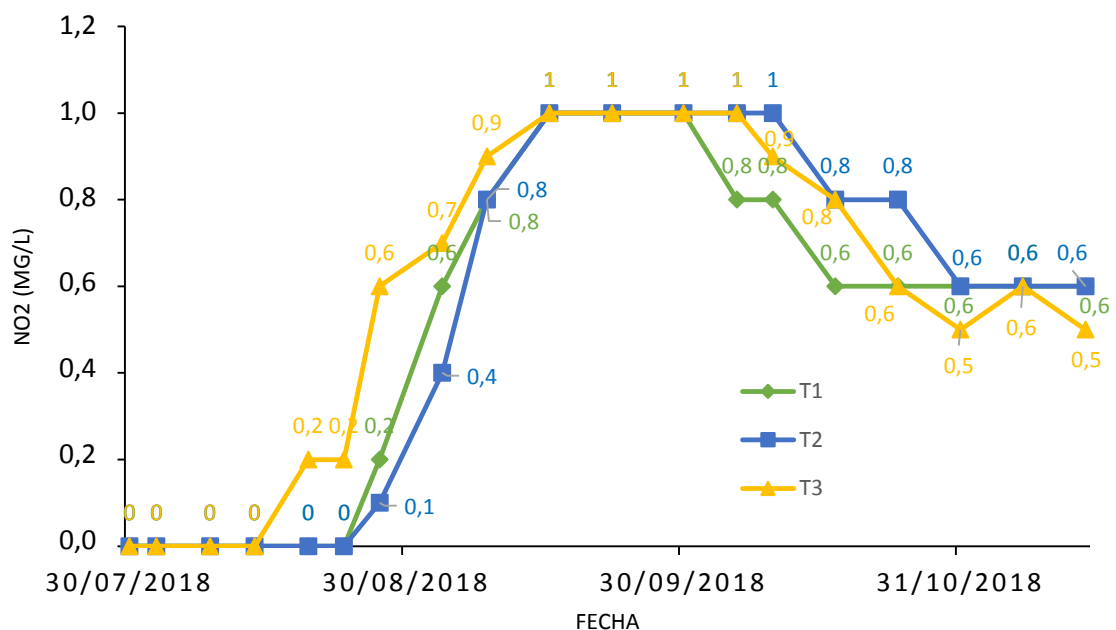
4.5.5. Nitritos NO₂

Durante el experimento en un sistema acuapónico que produce truchas y lechugas usando la técnica DFT, se estudió el parámetro de nitritos (NO₂). Los resultados de la prueba de Tukey mostraron que no hay diferencias significativas ($P \geq 0,05$). en los niveles de nitritos entre los tres tratamientos probados.

La figura 29 indica que el sistema de acuaponía experimentó un ciclo de nitrificación. La concentración de nitritos subió hasta un pico y luego comenzó a bajar. El tratamiento T3 tuvo el pico más alto, seguido de T1 y T2. Después de alcanzar el máximo, los niveles de nitritos se estabilizaron brevemente en los tres tratamientos, pero la reducción fue más marcada en T1 y T2, mientras que T3 mostró una caída más gradual. Esto sugiere que el sistema puede procesar y eliminar nitritos, aunque con diferentes eficiencias según el tratamiento.

Figura 29

Comportamiento de los nitritos (NO₂), observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.



Nota. Elaboración propia, (2019).

En esta investigación, se registraron las concentraciones de nitritos, las que presentaron una variación mínima entre los tres tratamientos, oscilando

entre un valor mínimo de 0,0 mg/l y un máximo de 1 mg/l. Una vez alcanzado este nivel máximo, las concentraciones de nitritos se estabilizaron de manera temporal en los tres tratamientos, manteniéndose en un rango de 0,5 a 0,6 mg/l, hasta el final. Según Somerville *et al.* (2014), los niveles recomendados de nitritos (mg/l) para las especies acuáticas empleadas en acuaponía, específicamente la trucha arcoíris, son <0,3 mg/l, al igual que FAO, (2024) señala que el rango tolerable de nitrito es < 0,3 mg/l, y deben mantenerse cerca de 0 mg/l, ya que son tóxicos a cualquier nivel detectable. Mientras que, Reyes *et al.* (2020) indicaron que, en el ámbito de la acuicultura, el rango ideal de Nitritos se encuentra entre < 1 mg/L, en lo que respecta al proceso de nitrificación, el intervalo óptimo oscila entre 0 - 1 mg/L, mientras que en hidroponía se recomienda mantener un rango de 0 - 1 mg/L; es importante señalar que los niveles altos Nitritos es altamente tóxico para peces, plantas y actividad bacteriana.

4.5.6. Nitratos (NO₃)

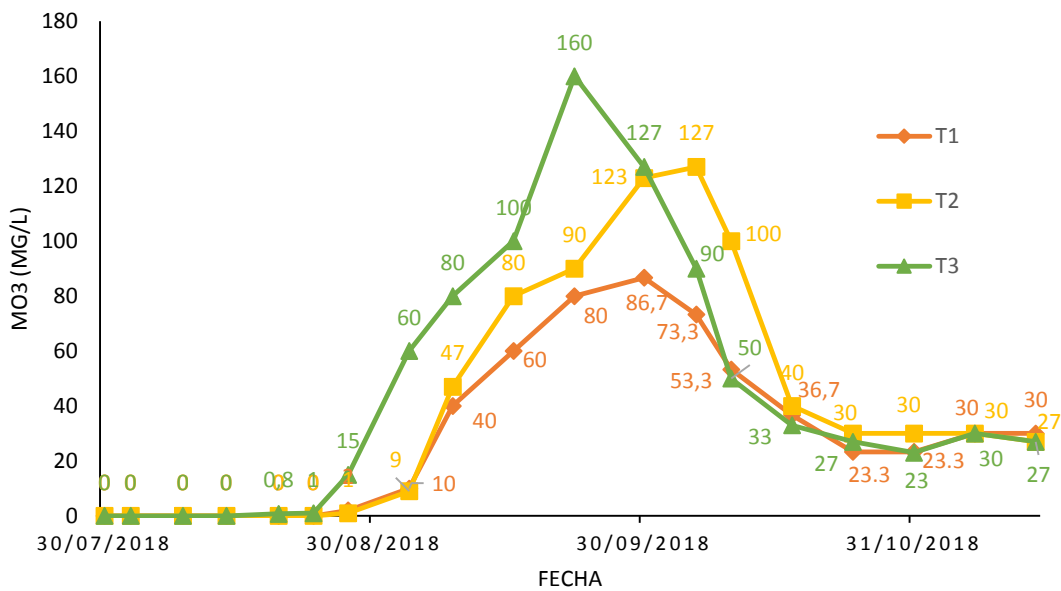
Durante un experimento en un sistema acuapónico para producir truchas y lechugas, se observó que el parámetro de Nitratos (NO₃) no mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tres tratamientos analizados, según la prueba de Tukey.

La figura 30 muestra que la acuaponía tuvo un aumento notable en nitratos durante el experimento en los tres tratamientos. Este aumento se debe a la actividad de los organismos en el sistema. Las diferencias en los picos y la velocidad de crecimiento de nitratos entre tratamientos sugieren que las condiciones específicas impactan la dinámica de estos compuestos. El tratamiento T3 tuvo la mayor concentración, seguido por T1 y

T2. Después de alcanzar su máximo, las concentraciones de nitratos comenzaron a bajar, siendo este descenso más marcado en T2, mientras que T1 y T3 disminuyeron más lentamente. Esto indica que el sistema puede asimilar y eliminar estos compuestos.

Figura 30

Comportamiento de los nitratos (NO₃), observados en los 3 tratamientos, en el sistema de tecnología acuapónica.



Nota. Elaboración propia, (2019).

En esta investigación se registraron las concentraciones de nitratos (NO₃), observándose variaciones significativas entre los diferentes tratamientos. El tratamiento T3 destacó al mostrar el desarrollo más rápido y alcanzar una concentración máxima de 160 mg/l, partiendo de un mínimo de 0,0 mg/l. Le siguió el tratamiento T2, que presentó un mínimo de 0,0 mg/l y un máximo de 127 mg/l, mientras que el T1 tuvo

un rango que osciló entre 0,0 mg/l y 86,7 mg/l, manteniéndose entre 27 y 30 mg/l hasta el final del estudio, los rangos registrados se encuentran dentro de lo permitido, según, Según Mendoza (2015), para cultivos de hoja en hidroponía, se requieren niveles de nitratos que oscilen entre 150 y 200 mg/l. Por su parte, la FAO (2014) señala que el contenido de nitrato en el agua no debe superar los 400 mg/litro, ya que, aunque la trucha crece adecuadamente en agua fría, es esencial asegurar una buena calidad del agua.

Asimismo, Reyes *et al.* (2020) indicaron que, en sistemas acuapónicos, el rango ideal de nitratos se sitúa entre 50 y 100 ppm. También enfatizan que niveles bajos de NO_3 pueden provocar deficiencias nutricionales en las plantas, mientras que niveles altos resultan tóxicos para los peces.

CONCLUSIONES

El efecto de peso y talla, se concluye con un peso inicial de 40 g y al término del experimento un peso final de 129 g, y talla inicial de 12,2 cm y al término del experimento se registró una talla final de 23,9 cm y una mortalidad 4,4 % en producción de trucha. Mientras en la producción de lechuga se registró una talla de 10 cm, 3 hojas y peso inicial de 2,5 g y al término del experimento una talla de 23,6 cm, 17 hojas y peso final de 118 g a los 43 días.

El rendimiento de producción de trucha es de 4,70 kg/m³ y producción de lechuga es 4,60 kg/m², en el sistema acuapónico.

La calidad del agua en la tecnología acuapónica con sistema de DFT, se mantuvo en rangos aceptables para la trucha con respecto a T °C, O.D y pH. Sin embargo, los parámetros químicos como el NH₄, NO₂ y NO₃ registraron variaciones con altas concentraciones.

El efecto de la evaluación de la tasa de alimentación aplicando tres tazas (3%, 2,5% y 1,5%) se concluye con un factor de conversión alimenticia (FCA) de T1: 2,3, T2: 1,6 y T3:0,95.

La tecnología acuapónica, bajo las condiciones experimentales descritas, es una opción eficiente y viable para la producción de trucha y lechuga.

RECOMENTACIONES

Se recomienda lo siguiente:

Se recomienda al Gobierno Regional de Tacna, el fomento y financiamiento de proyectos de alternativas viables y con beneficios, como la tecnología acuapónica del cultivo de truchas y otras plantas adaptadas en la región, que impulsen el desarrollo socioeconómico.

Se recomienda a las instituciones y universidades locales de Tacna que, en futuras investigaciones, se promuevan la realización de pruebas del cultivo de diversas especies (peces y plantas), con el propósito de evaluar su capacidad de adaptación, desarrollo y biorremediación.

Se recomienda a los acuicultores y agricultores de cultivo tradicional, optar alternativas tecnologías como la acuaponía para minimizar el uso excesivo del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, M; Hernández, F; Mendieta, E y Herrera, C. (2012). “*Producción integral sustentable de alimentos*”. Consultado el 17 de junio de 2024. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/461/46125176006.pdf>
- Akbulut, B., Sahin, N., Aksungur, M. y Aksungur R. (2002). “*Effect of Initial Size on Growth Rate of Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Reared in Cages on the Turkish Black Sea Coast*”. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science.
- Alcarraz, E., Tapia M., Bustamante A., Tapia O., Wacyk J. y Escalona V. (2018). “*Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (Lactuca sativa L.) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico*”, Obtenido el 15 de octubre del 2024 de: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/index>.
- Arellano, D. (2020). “*Comparación productiva entre sistemas acuapónicos e hidropónicos a partir de la combinación de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) y acelga (Beta vulgaris var. cicla)*”, Obtenido el 10 de noviembre del 2024 de: <https://repositorio.uchile.cl/>.
- Asimov, I. (2014). “*Breve historia de la química: Introducción a las ideas y conceptos de la química*”. Alianza Editorial (El Libro de Bolsillo).
- Avnimelech, Y. (2015). “*Biofoc Technology-A practical Guide Book*”, 3rd Edition. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana. United States.

- Axayacalt, O. (2014). “*Desventajas de la hidroponía*”. Obtenido el 12 de junio del 2024 de: <http://www.horticulturaefectiva.net/2011/06/desventajas-de-lahidroponia>.
- Braun, N., Lima, L., Baldisserotto, B., Dafrey, A. y Nuñez, A. (2010). “*Growth, biochemical and physiological responses of *Salminus brasiliensis* with different stocking densities and handling. Aquaculture*”.
- Caló, P. (2011). “*Introducción a la Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola CENADAC*”. Obtenido el 12 de octubre del 2024 de: http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/06_publicaciones/_archivos/130423_introducci%C3%B3n%20a%20la%20acuaponia.pdf.
- Casas, D. (2008). “*Sistema de recirculación de agua para la cría intensiva de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*)*”. Obtenido el 8 de diciembre del 2024 de: <http://es.scribd.com/doc/253604808/Cria-Intensiva-de-Cachamas#scribd>.
- Carbó, R. (2009). “*Sistemas de recirculación para acuicultura (SRA). Hoja divulgativa 2: Recirculación*”. Obtenido el 10 de diciembre del 2024 de: http://www.Fundacionoesa.es/images/stories/miscelanea/hoja_divulgativa2.pdf
- Carpio, E. y Tito, E. (2017). “*Escalas productivas y nivel de riesgo del productor de trucha, Puno, Perú*”. *Comunicación: revista de investigación en Comunicación y desarrollo*, Volumen 8, N° 2.
- Carranza, O., Oliva J., Rimachi T., y Diaz, A. (2021), “*Determinación de la simbiosis de tres densidades de cultivo de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y cuatro variedades de lechugas (*Lactuca sativa*), instalados en sistema acuapónico con tecnología de recirculación de agua, distrito Corosha, Amazonas*”, Obtenido el 05 de agosto de: <https://dialnet.unirioja.es/>.

- Cifuentes M. y Crespo A. (2008). “Evaluación del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa Agustina Xolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu” Guatemala.
- Colagrosso, A. (2014). “Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala”. Obtenido el 7 de junio del 2024 de: http://www.elfinancierocr.com/negocios/Manual-desarrollocultivoacuaponico_ELFFIL20140113_0001.pdf.
- Condori, G. (2019) “*Evaluación del crecimiento y levante de larvas a alevinos de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss), con diferentes niveles de alimentación y diferentes densidades en la Comunidad de Llaullini, Municipio de la Paz – tesis*”, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica.
- Dekovic, 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*”. Tesis de Maestría. Universidad de Santiago de Chile. Iquique (Chile)
- Delaide, B. (2017). “*Study on the mineral elements available in aquaponics, their impact on lettuce productivity and the potential improvement of their availability*”. Doc. Thesis. Belgique, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech. 99 p.
- FAO, (1991). Food and Agriculture Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. “*Manual para la prevención y el tratamiento de las enfermedades en peces de cultivo de agua dulce*”. Ediciones FAO Chile. 67 pp.

FAO, (2014). Food and Agriculture Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *“la Estadística de Capturas y Desembarcos de Pesca Marítima está recogida en el Plan Estadístico Nacional”* (PEN). Perfil Ambiental de España e Indicadores: Áreas y Sectores de producción pesquera.

FAO, (2014), Food and Agriculture Organization of the United Nations. “Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming”, 2070-7010.

FAO, (2017). Food and Agriculture Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *“la Estadística personas que padecen hambre en Perú”* periodo 2014 a 2016.

FAO, (2024). Food and Agriculture Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *“Composición química del agua”*

FAO y OPS, (2016). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Panamericana de la Salud. *“Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe”*. Obtenido el 15 de agosto del 2024 de: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAOCountries/Uruguay/docs/PANORAMA_2017.pdf

Flores, E., y Yapuchura, A. (2016). *“Formación de clústeres de productores de trucha y la articulación con el mercado objetivo en la región de Puno – Perú”*.

FONDEPES, (2006). Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, “Manual de crianza de trucha”. Obtenido el 8 de octubre del 2024: https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/manual_trucha.pdf

- FONDEPES, (2014). Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. “Manual de Cultivo de Trucha En Ambientes Convencionales” Obtenido el 10 de octubre del 2024 de: www.fondepes.gob.pe
- García, B., y Zevillanos, R. (2004). “*Manual de crianza de truchas en jaulas flotantes. Puno – Perú*”: Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente – CIRNMA
- García, L. (2012). “*Eclosión de ovas embrionadas Nacionales e Importadas y supervivencia de larvas de trucha Arco Iris en la Piscigranja Gruta Milagrosa. Acopalca – Huancayo*”. Tesis para optar el título profesional. Facultad de zootecnia. UNCP. Huancayo-Perú.
- Gómez, M; Ortega, L.; Trejo, T.; Sánchez, P.; Salazar, M.; y Salazar, O. (2015). “*La Acuaponía: Alternativa Sustentable y Potencial para Producción de Alimentos en México*”. Agro productividad.
- Google Earth, (2018). “Imágenes satelitales, mapas y datos geográficos del mundo en tres dimensiones”. Obtenido el 20 de agosto del 2024 de: https://www.google.com/search?q=google+earth+2018+que+funcion+cumple&sca_esv=9bc03c031fd543e7&ei=zFoEaNqSE5Cn5OUPoNeswQE&ved=0ahUKEwjaoCTx.
- Hernández, L. (2017). “*Evaluación de sistema acuapónico tradicional y de doble recirculación para cultivo de tilapia-lechuga*”, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/1057592154.2018.pdf

- INTAGRI, (2017). *Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. La Hidroponía: “Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida”*. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- Klontz G. W. (1991). *Producción de truchas Arcoíris en granjas familiares*. Impresores S.A. México. 87 pp.
- Mendoza, R., (2007). *“Manual del cultivo de truchas (Oncorhynchus mykiss) a nivel intensivo”*. Obtenido el 9 de junio del 2024 de: <http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/documentos/peces/trucha/Manual%20de%20crianza%20truchas.pdf>
- Mendoza, V. (2015). *“Efecto de tres soluciones nutritivas en el rendimiento y calidad de Lactuca sativa L.var. capitata cv. White Boston en sistema hidropónico en Santiago de Chuco, La Libertad”*. Tesis Ing. Agr. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 59 p.
- Merino, G. y Von-Brand E. (2015). *“Acuaponía con truchas en zonas áridas – Valle del Elqui”*. Universidad Autónoma Baja California Sur.
- Morales, G. (2004). *“Crecimiento y eficiencia alimentaria de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación”*. Tesis para acceder al título de ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Morales V. (2019). *“Producción de Hortalizas bajo Sistemas Hidropónicos, Técnica de la Película de Nutriente (NFT) y Cama de Agua”*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- Muños, M. (2012). “*Sistemas de recirculación acuapónicos*”. Informador técnico, 76, 123-129. Obtenido el 15 de agosto del 2024 de: file:///C:/Users/juan%20olivares/Downloads/DialnetSistemasDeRecirculacion Acuaponicos-4364577.pdf
- Näslund, J., Sandquis, L. y Johnsson, J. (2017). “*Is behaviour in a novel environment associated with bodily state in brown trout Salmo trutta fry*” Ecology of Freshwater Fish.
- Núñez, P., Somoza, G. y García B. (2010). “*Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arco-iris*”. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).Ed.Herrero: Pp.60-62.
- Ochoa, R. (2009). “*Diseños Experimentales*”. La Paz - Bolivia. Pp. 388
- Otero, L. (2012). “*Nutrición*”. México, RED TERCER MILENIO S.C. Obtenido el 10 de julio del 2024 de: <http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales:/salud/Nutricion.pdf>.
- Panné, S. y Luchini, L. (2012) – “*Producción de “Trucha Arco-Iris”* Dirección de Acuicultura.
- Petrea, S., Cristea, L., Dediú, M., Contoman, P., Lupoae, M., Mocanu, y Coadă, M. (2013). “*Vegetable Production in an Integrated Aquaponic System with Rainbow Trout and Spinach. Animal*” Science and Biotechnologies.
- Rakocy J., Masser M. y Losordo T. (2006). “*Reacción en acuicultura. Sistema de producción de tanques*”: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. Centro Regional de Acuicultura Southern (CRAS). Publicación N° 454.

- Reyes, A., Martínez, P., y Ahmad, R. (2020). “Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems. *Journal of Cleaner Production*”, 263(121571). 10.1016/j.jclepro.2024.
- Regalado, R. (2013). “Diseño y evaluación de un sistema acuapónico para la producción de animales acuáticos y plantas para consumo humano” obtenido el 18 de junio del 2024 de: https://www.academia.edu/7882396/Tesis_Regalado_Arreola_2013Dise%C3%B1o_y_Evaluaci%C3%B3n_Sistema_Acuapon%C3%ADa.
- SINACUI – PRODUCE (2022). Sistema Nacional de Acuicultura - Ministerio de la Producción. “*Manual para una Acuicultura Sostenible Cultivo de Trucha*”, Obtenido el 15 de julio del 2024 de: <https://rnia.produce.gob.pe/>
- Somerville, C.; Cohen, M.; Pantanella, E.; Stankus, A. y Lovatelli, A. (2014). “Producción de alimentos acuapónicos a pequeña escala. Cultivo integrado de peces y plantas”. Documento técnico N° 589 sobre pesca y acuicultura, Roma.
- Somerville, C., y FAO (2025). Food and Agriculture Organization of the United Nations. “*Small-scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming*”.
- Velichkova, K., Sikarov, S., Stoyanova, T. y Staykov, Y. (2019). “*Cultivation of lettuce (Lactuca sativa L.) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss W.) in the aquaponic recirculation system*”. *Journal of Central European Agricultural* 20(3):967-973.
- Vergaray, J. (2015) “Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachypomus* “paco” en un sistema acuapónico superintensivo, en el

iesppb, 2015” obtenido el 17 de junio del 2024 de:
<https://repositorio.unia.edu.pe/items/e94b8d05-f518-44be-933c-e19d2c07bde9>

Woynarovich, A.; Hoitsy, G. y Poulsen, M. (2011). “*Smallscale rainbow trout farming. Fisheries and aquaculture technical*” paper 561, 81.

Zavala E. (2019). “Evaluación del sistema acuapónico de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y la hidroponía en la producción de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare*), Abancay – Apurímac – 2018”. Obtenido el 12 de setiembre del 2024 de:
<https://repositorio.utea.edu.pe/server/api/core/bitstreams/70b85011-8c94-4210-b865-1b78055cb741/content>.

ANEXOS

Anexo 1

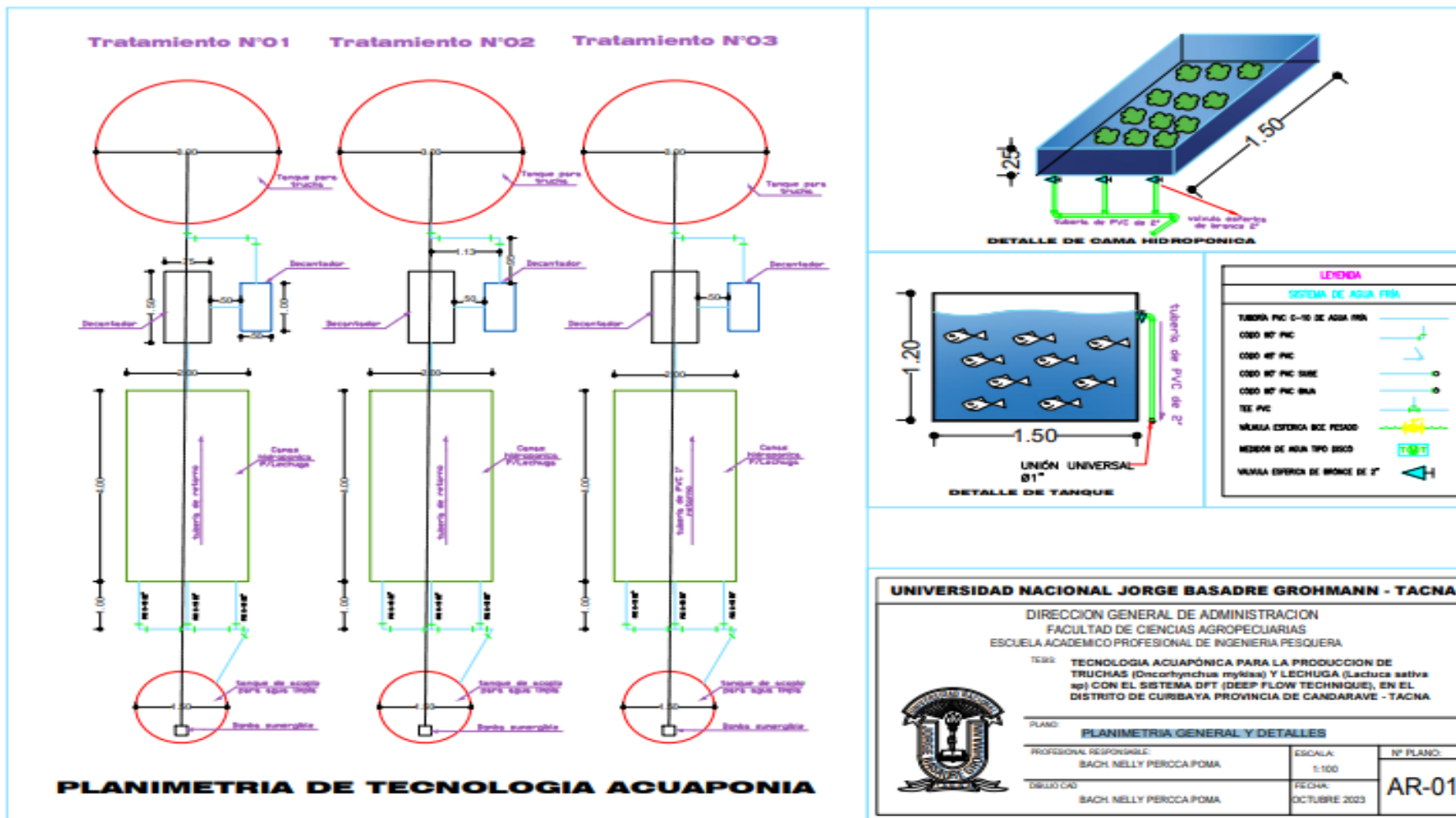
Matriz de Consistencia y Operacionalización de Variables

Problema	Objetivos	Hipótesis	Operacionalización		
			Variables	Indicadores e Instrumentos	Tipo de Investigación
<p>Problema General: ¿Es factible desarrollar la tecnología acuapónica para la producción de truchas (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) y lechugas (<i>Lactuca sativa sp</i>) mediante el sistema DFT (Técnica de Flujo Profundo) en el Distrito de Curibaya Provincia de Candarave – Tacna?</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Se podrá evaluar los parámetros físico-químicos del agua (amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura y oxígeno)? 2. ¿Se podrá evaluar la talla, peso y mortalidad de las truchas y lechugas en crecimiento? 3. ¿Se podrá evaluar la producción total de las truchas y lechugas en el sistema acuapónico? 4. ¿Se podrá evaluar la tasa de alimentación y su factor de conversión alimenticia (FCA)? 	<p>Objetivo General: “Desarrollar la tecnología acuapónica para la producción de truchas (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) y lechugas (<i>Lactuca sativa sp</i>) con sistema DFT Distrito de Curibaya, - Provincia de Candarave – Tacna”</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los parámetros físico-químicos del agua (amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura y oxígeno). • Evaluar la talla, peso y mortalidad de las truchas y lechugas en crecimiento. • Evaluar la producción y total de las truchas y lechugas en el sistema acuapónico. • Evaluar la tasa de alimentación y su factor de conversión alimenticia (FCA). 	<p>Estableciendo una nueva tecnología acuapónica para la producción de truchas (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) y lechugas (<i>Lactuca sativa sp</i>) con sistema DFT (Deep Flow Technique), se obtendrá un cultivo orgánico saludable, tanto de peces como hortalizas.</p>	<p>Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Acuaponía para la producción de truchas (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) y lechugas (<i>Lactuca sativa sp</i>); evaluación de parámetros físico-químicos del agua (amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura, oxígeno), tasa de alimentación y su factor de conversión alimenticia (FCA) para los peces. <p>Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Talla (cm) – Peso (g) – Mortalidad (%) de los peces y plantas 	<ul style="list-style-type: none"> – Acuaponía para la producción de truchas (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) y lechugas (<i>Lactuca sativa sp</i>); evaluación de parámetros físico-químicos del agua (amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura, oxígeno), tasa de alimentación y su factor de conversión alimenticia (FCA) para los peces.: Formatos de muestreo (mg/l, pH, °C, % y kg). - Talla (cm): Ictiómetro, tablas de registro de datos. - Peso (g): Balanza gramera, tablas de registro de datos. - Mortalidad (%): Tablas de registro de datos 	Experimental

Nota. Elaboración propia, (2019).

Anexo 2

Planimetría general y detalles del sistema acuapónica



Nota: Elaboración propia, (2019).

Anexo 3

Registro de datos del peso y talla de los peces

FICHA DE CONTROL PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL PESO Y LA TALLA DE LOS PECES																			
FECHAS	REPETICIONES N° DE MUESTRAS	TRATAMIENTO 1						TRATAMIENTO 2						TRATAMIENTO 3					
		R1		R2		R3		R1		R2		R3		R1		R2		R3	
		Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)
30/07/2018	1	12.2	40	12.3	41	13	45	12	35	13.0	38	13.0	40	12	35	11.4	37	13.1	32
30/07/2018	2	11.8	35	12.5	33	12.5	40	12.3	35	12.1	45	12.1	43	12.3	45	12.0	35	12.5	40
30/07/2018	3	12.4	40	13	38	12.0	40	12.5	40	12.6	42	12.6	42	12.5	38	12	45	12.2	43
30/07/2018	4	12	45	12.2	42	11.5	40	11.9	38	11.2	35	11.2	45	11.9	40	12.2	41	12.5	38
30/07/2018	5	12.4	40	13	40	11.2	40	12.5	40	12.0	40	12.0	38	12.5	40	12	40	13	35
	PROMEDIO	12.2	40.0	12.6	38.8	12.0	41.0	12.2	37.6	12.2	40.0	12.2	41.6	12.2	39.6	11.9	39.6	12.7	37.6
28/08/2018	1	15.4	70	16.2	80	15.5	80	15.3	70	14.5	60	14.5	70	15	60	15	78	15.0	82
28/08/2018	2	15.2	65	15.5	83	16.8	80	16.6	75	16	80	14.8	72	14.6	75	14	80	14.5	78
28/08/2018	3	16.3	75	16	87	15	87	15.4	80	14.8	76	15.2	80	14.3	68	13.8	76	14.8	74
28/08/2018	4	15.4	70	16.2	85	16.2	79	15.5	76	15.2	75	14.4	78	14.5	65	16	81	14.1	70
28/08/2018	5	16	78	15.8	80	16	83	15.6	83	15	80	15.4	85	13.7	70	16	80	14.0	80
	PROMEDIO	15.66	71.6	15.94	83	15.9	81.8	15.68	76.8	15.1	74.2	14.86	77	14.42	67.6	14.96	79	14.48	76.8
25/09/2018	1	19.5	105	19.2	103	19	110	18	97	18.7	99	18.4	92	18	80	17.2	78	16.5	87
25/09/2018	2	18.3	109	19.3	106	18.6	105	18.3	86	18.3	91	17.3	102	18.2	96	18.5	99	18.8	102
25/09/2018	3	20	106	18.2	93	18.8	102	18.6	85	21.4	103	18	98	18	90	18.6	91	17.5	68
25/09/2018	4	18.6	102	19.4	109	19.7	101	17.6	89	19.5	96	19.2	97	19	94	17.2	103	18.4	97
25/09/2018	5	18.8	107	18.8	105	19.2	107	17.4	95	19.4	87	18.5	99	17.4	88	17.5	96	19.6	99
	PROMEDIO	19.04	105.8	18.98	103.2	19.06	105	17.98	90.4	19.5	95.2	18.28	97.6	18.12	89.6	17.8	93.4	18.16	90.6
24/10/2018	1	20.5	118	20.7	122	20	112	20	118	20.5	116	20	112	20.8	107	19.5	105	19	113
24/10/2018	2	21.5	127	21.2	125	20.8	114	20	117	21	122	20.8	114	19.3	109	20.5	112	19	109
24/10/2018	3	20.2	125	20	126	21	119	21	125	20	117	21	119	20	101	20.2	109	19	115
24/10/2018	4	21.8	120	20	120	21.5	117	20.3	105	17.8	121	20	117	20.6	102	19.8	102	20	109
24/10/2018	5	21.5	126	20.7	117	20.4	113	20.8	116	19	117	20	113	21.8	104	20.5	110	20.3	111
	PROMEDIO	21.1	123.2	20.52	122	20.74	115	20.42	116.2	19.66	118.6	20.36	115	20.5	104.6	20.1	107.6	19.46	111.4
15/11/2018	1	24.3	150	23.5	140	24.8	150	23.2	130	22	125	23.5	130	22.5	120	23.5	135	24.3	152
15/11/2018	2	23.8	140	23	139	23.6	150	23.4	121	23.5	130	25	135	23.8	112	23	130	23.5	135
15/11/2018	3	24.8	145	24.6	140	23.5	135	23.6	130	25	150	23.8	128	21.3	118	24.8	140	23	140
15/11/2018	4	23	139	24.8	138	24.2	140	23	125	22	125	23.4	130	22	115	22.8	128	22.8	140
15/11/2018	5	24.3	135	23	145	24	138	23.8	127	23.5	135	24.2	154	23.4	120	22.3	120	23.4	130
	PROMEDIO	24.04	141.8	23.78	140.4	24.02	142.6	23.4	126.6	23.2	133	23.98	135.4	22.6	117	23.28	130.6	23.4	139.4

Nota: Elaboración propia, (2019).

Anexo 4

Registro de datos del crecimiento de las plantas.

FICHA DE CONTROL PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS																			
FECHAS	REPETICIONES N° DE MUESTRAS	TRATAMIENTO 1						TRATAMIENTO 2						TRATAMIENTO 3					
		R1		R2		R3		R1		R2		R3		R1		R2		R3	
		Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)
INICIO 04/10/2018	PROMEDIO	6.5	3	6	3	6.3	3	6.5	3.5	6	3	6.2	3	6.5	3	6.5	3	6.8	3
1° Semana	1	8.5	4	9.2	4	8.4	4	9.5	4	10	3	10.2	4	10.5	4	10.2	4	11.2	4
	2	8	3	9	3	9.5	3	8	3	10.5	3	9	3	10	3	9.5	3	10.5	3
	3	10	4	9.5	4	10	4	8.5	4	9.5	4	10	4	10	4	11.4	3	10	4
	4	9.2	4	8.8	4	10	4	9.5	3	9.2	4	9.2	4	9.8	3	11.2	4	9.2	4
	5	7.5	3	10.2	3	8.6	3	9	3	8.5	3	9.5	3	11.3	3	10.5	3	9.5	3
11/10/2018	PROMEDIO	8.6	3.6	9.3	3.6	9.3	3.6	8.9	3.4	9.5	3.4	9.6	3.6	10.3	3.4	10.6	3.4	10.1	3.6
2° Semana	1	11.5	5	13	4	13	5	14	5	12	4	12	5	14	4	12	4	13.2	4
	2	12.2	4	13.8	4	13.4	6	11.5	4	12	4	12	5	12	4	14	4	12.8	4
	3	10.8	6	14.5	4	12.8	4	12.5	4	12.5	5	11.6	4	12	4	13.6	5	14	4
	4	11	5	12.6	6	13.6	4	12.2	4	11	5	13	5	12	4	13	4	14	4
	5	12.5	4	13.4	4	14.6	4	11.8	4	12	4	12	3	12.5	4	12.5	4	13.6	4
18/10/2018	PROMEDIO	11.6	4.8	13.5	4.4	13.5	4.6	12.4	4.2	11.9	4.4	12.1	4.4	12.5	4	13	4.2	13.5	4
3° Semana	1	12.3	7	12.5	7	13.7	8	14	6	15	7	13.8	6	13.6	6	13	6	14.2	6
	2	14	6	13.9	6	13.4	6	13	6	13	6	14	6	14.3	6	14	6	14.6	5
	3	14	6	15.2	8	15	6	11.8	7	12.7	6	14	6	12.8	6	13.6	6	13.4	5
	4	15	8	15	7	13.8	6	13	6	13	5	13	6	14	6	14	6	13.8	6
	5	16	6	14.4	6	14.9	6	11.6	6	12.8	6	13.6	6	13.4	5	13.4	6	14.5	6
25/10/2018	PROMEDIO	14.3	6.6	14.2	6.8	14.2	6.4	12.7	6.2	13.3	6	13.7	6	13.6	5.8	13.6	6	14.1	5.6
4° Semana	1	16	8	17.7	9	18	9	17.5	9	17.3	8	17	9	16.5	8	16	8	17.6	9
	2	17	8	16.4	8	15.6	9	17	9	17	9	16.8	8	17	8	17.3	9	17	8
	3	19	9	18	8	16.9	9	17	8	16.8	9	17.4	9	19	9	17.8	9	18.2	9
	4	17	9	16.3	10	16.4	10	17	9	17.4	9	18	8	17.3	9	18	9	17.5	9
	5	17	8	16	9	17.2	8	18	9	17	7	17.5	9	17	8	17	8	19	9
1/11/2018	PROMEDIO	17.2	8.4	16.9	8.8	16.8	9	17.3	8.8	17.1	8.4	17.3	8.6	17.4	8.4	17.2	8.6	17.9	8.8
5° Semana	1	20	12	19	11	20	12	18	10	18	12	19.4	9	18.6	10	19.3	11	18.9	12
	2	19.5	14	18.7	11	19.6	11	19	11	18.2	11	18.8	10	19	12	19	12	19.6	11
	3	21	13	18	10	19	11	18	12	18	10	18	12	18	12	20	11	19.6	11
	4	20	14	20.2	12	19.8	12	19	10	17.5	10	18	10	22	12	20.5	12	21	11
	5	21	15	19.3	11	17.9	12	20	11	19	10	18.5	13	21.2	10	21.3	12	20.8	12
8/11/2018	PROMEDIO	20.3	13.6	19	11	19.3	11.6	18.8	10.8	18.1	10.6	18.5	10.8	19.8	11.2	20	11.6	20	11.4
6° Semana	1	23	14	22	14	21	15	20	15	22	18	20.7	16	22.3	14	21.8	15	23.4	15
	2	22.5	16	21	16	22	14	21	16	20	16	22	19	24	15	23.6	15	23.9	14
	3	23.2	15	20.3	14	20	16	20	16	20.4	16	20.2	18	23	14	23.5	15	23.7	16
	4	22.8	15	19.8	15	21.3	16	21	16	20.6	19	20	17	24	14	24.7	15	24.6	16
	5	23.5	16	22	16	20.6	17	20	14	21	20	20	18	24	16	23.6	14	24	16
15/11/2018	PROMEDIO	23	15.2	21	15	21	15.6	20.4	15.4	20.8	17.8	20.6	17.6	23.5	14.6	23.4	14.8	23.9	15.4

Nota: Elaboración propia, (2019).

Anexo 5
Análisis de varianza (ANOVA) simple de los variables del proyecto de investigación.

Leyenda: **GL:** Grados de libertad, **Sig.:** Significancia, **Fc.:** Calculada, **NS:** No Significativo, * Significativo **Altamente significativo

Tabla 14

Análisis de Varianza (ANOVA) simple para el crecimiento de la longitud (talla) de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en los sistemas acuapónicos

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5,462	2	2,731	4,224	0,021
Dentro de grupos	27,156	42	0,647		
Total	32,618	44			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) simple del crecimiento del peso de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en los sistemas acuapónicos.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,400	2	4,200	0,364	0,697
Dentro de grupos	484,800	42	11,543		
Total	493,200	44			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 16

Análisis de Varianza (ANOVA) simple de la tasa de Alimentación de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en los sistemas acuapónicos.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,380	2	1,690	169,000	0,000
Dentro de grupos	,060	6	0,010		
Total	3,440	8			

Nota. Elaboración propia, (2019).

Tabla 17

Análisis de Varianza (ANOVA) simple de la mortalidad de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en los sistemas acuapónicos

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1204,222	2	602,111	17,767	0,003
Dentro de grupos	203,333	6	33,889		
Total	1407,556	8			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 18

Análisis de varianza (ANOVA) simple del crecimiento de las lechugas (Lactuca sativa sp).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	69,979	2	34,990	41,806	0,000
Dentro de grupos	35,152	42	0,837		
Total	105,131	44			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 19

Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de la temperatura en el sistema de tecnología acuapónica.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7,547	2	3,774	1,551	0,213
Dentro de grupos	2379,945	978	2,433		
Total	2387,492	980			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 20

Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento del oxígeno disuelto del sistema de tecnología acuapónica.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,405	2	1,203	2,457	0,086
Dentro de grupos	478,742	978	0,490		
Total	481,147	980			

Nota. Elaboración propia, (2019).

Tabla 21

Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de parámetro pH del sistema de tecnología acuapónica.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,432	2	0,716	6,559	0,001
Dentro de grupos	106,759	978	0,109		
Total	108,191	980			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 22

Análisis de varianza (ANOVA) simple, del comportamiento de parámetro Amonio (NH4) en el sistema de tecnología acuapónica.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	47,020	2	23,510	4,373	0,014
Dentro de grupos	903,195	168	5,376		
Total	950,215	170			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 23

Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de los nitritos (NO2) en el sistema de tecnología acuapónica.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,125	2	0,063	0,415	0,661
Dentro de grupos	25,275	168	0,150		
Total	25,400	170			

Nota: Elaboración propia, (2019).

Tabla 24

Análisis de varianza (ANOVA) simple del comportamiento de los nitratos (NO3) en el sistema de tecnología acuapónica.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4628,626	2	2314,313	1,467	0,234
Dentro de grupos	265002,240	168	1577,394		
Total	269630,866	170			

Nota. Elaboración propia, (2019).

Anexo 6

Evidencia fotográfica del proyecto



Anexo 9

Ficha de control de los parámetros químicos: NH_3 , NO_2 , y NO_3

FICHA DE CONTROL DIARIO DE LOS PARAMETROS QUIMICOS: NH_3 , NO_2 Y NO_3 DEL AGUA																				
TRATAMIENTOS	REPETICIONES	PARAMETROS	FECHAS DEL MUESTREO																	
T 1	R1	NH4 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
	R2	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
	R3	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
T 2	R1	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
	R2	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
	R3	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
T 3	R1	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
	R2	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		
	R3	NH3 (mg/l)																		
		NO2 (mg/l)																		
		NO3 (mg/l)																		

Nota. Elaboración propia, (2019).

Anexo 11

Ficha de control de crecimiento de las plantas

FICHA DE CONTROL PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS																			
FECHAS	REPETICIONES	TRATAMIENTO 1						TRATAMIENTO 2						TRATAMIENTO 3					
		R1		R2		R3		R1		R2		R3		R1		R2		R3	
	N° DE MUESTRAS	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)	Talla (cm.)	N° DE HOJAS (unidad)
INICIO 04 10 2018	PROMEDIO																		
1° Semana	1																		
	2																		
	3																		
	4																		
	5																		
11/10/2018	PROMEDIO																		
2° Semana	1																		
	2																		
	3																		
	4																		
	5																		
18/10/2018	PROMEDIO																		

Nota. Elaboración propia, (2019).

Anexo 12

Ficha de control de peso y talla de los peces

FICHA DE CONTROL PARA LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL PESO Y LA TALLA DE LOS PECES																			
FECHAS	REPETICIONES N° DE MUESTRAS	TRATAMIENTO 1						TRATAMIENTO 2						TRATAMIENTO 3					
		R1		R2		R3		R1		R2		R3		R1		R2		R3	
		Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)	Talla (cm.)	Peso (g.)
30/07/2018	1																		
30/07/2018	2																		
30/07/2018	3																		
30/07/2018	4																		
30/07/2018	5																		
	PROMEDIO																		
28/08/2018	1																		
28/08/2018	2																		
28/08/2018	3																		
28/08/2018	4																		
28/08/2018	5																		
	PROMEDIO																		
25/09/2018	1																		
25/09/2018	2																		
25/09/2018	3																		
25/09/2018	4																		
25/09/2018	5																		
	PROMEDIO																		
24/10/2018	1																		
24/10/2018	2																		
24/10/2018	3																		
24/10/2018	4																		
24/10/2018	5																		
	PROMEDIO																		
15/11/2018	1																		
15/11/2018	2																		
15/11/2018	3																		
15/11/2018	4																		
15/11/2018	5																		
	PROMEDIO																		

Nota. Elaboración propia, (2019)