

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



EVALUACION DEL SISTEMA ACUAPONICO DE TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*) Y LA HIDROPONÍA EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE DE CEBADA (*Hordeum vulgare*), ABANCAY – APURÍMAC - 2018.

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo
presentado por la Bachiller en Ciencias Agrarias:

ELENA ZAVALA AULLA

ASESOR:

Dr. FRANCISCO MEDINA RAYA

ABANCAY – APURÍMAC – PERÚ

2019

DEDICATORIA

AL SEÑOR DIOS: Por haberme dado la vida y la sabiduría y por darme todo lo que tengo gracias Dios padre mío.

A MIS PADRES: Luis Zavala Vargas (†)

Este texto es lo más difícil y lo que nunca pensé que iba a escribir...papá siempre te voy a llevar en mi mente y corazón...aun después de la muerte te sigo amando padre.

Augusta Aulla Barretón

Por su amor, paciencia, ejemplo y por todos sus sabios consejos, te quiero mamá.

A MI ABUELO: Basilio Cáceres Tapia (†)

Estas palabras para mi querido Abuelo a quien amo y amare siempre y creo en la vida después la muerte ahí nos veremos abuelo.

A MIS HERMANOS: Reyna, Teresa, Leoncio, Renata, Luis y María por estar siempre.

A MIS SOBRINOS: Con mucho aprecio y cariño.

A MI ESPOSO: Carlos Alberto Inca Moreano

Por ser el amor de mi vida, por impulsarme a alcanzar mis metas, por su apoyo moral y por ser el hombre virtuoso que Dios me ha dado.

A MI HIJA: Emma Alezzi Inca Zavala

Por ser mi motor y motivo mi alegría mi princesa linda a quién amo con todo mi corazón y amare por siempre.

A MIS SUEGROS: Marcelino Inca López y Victoria Moreano Cáceres
Gracias por su apoyo y por compartir conmigo esta última etapa de mi carrera.

A MIS CUÑADOS: Edith, Jhonatan, Karolin, José y Andrea Gracias por compartir este momento de felicidad.

A MIS AMIGOS: Por su invaluable amistad y por todos los momentos inolvidables vividos.

Elena

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Universidad Tecnológica de los Andes, por haberme formado en sus magnas aulas.

Al Dr. Francisco MEDINA RAYA, por su valiosa asesoría profesional, por ser la persona que me motivo a efectuar dicha investigación; por brindarme su amistad, colaboración y contribuciones a la realización de este trabajo.

Al Mg. Sc. Jhonatan Steve INCA MOREANO, por su valioso apoyo profesional, por ser la persona que me motivo a efectuar dicha investigación; y por brindarme su amistad.

A mis distinguidos **Docentes** por haberme brindado sabiduría durante mi formación Profesional. Ing. Jaher Alejandro MENACHO MORALES, Ing. Rosa MARRUFO MONTOYA, M.Sc. JUAN ALARCÓN CAMACHO, Dr. Ely Jesús ACOSTA VALER, Mg. BRAULIO PÉREZ CAMPANA, Ing. Luis OSCCO ALDAZABAL.

Elena.

RESUMEN

La acuaponía es una técnica en la que se aprovecha los nutrientes provenientes de la producción de peces para el cultivo de vegetales y forraje verde de cebada, logrando así la disminución del consumo de agua, porque este sistema es recirculante generando una simbiosis entre peces y plantas. El objetivo del presente estudio fue evaluar el sistema acuapónico de trucha e hidropónico en la producción de forraje verde de cebada. Se utilizaron 150 truchas arcoíris con un promedio de peso 60 g. cada uno para el sistema acuapónico. Se utilizó 24 kg de cebada distribuidos en un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos, doce repeticiones. Los tratamientos fueron el sistema acuapónico y en sistema hidropónico. Los resultados fueron superiores en el sistema acuapónico en comparación al sistema hidropónico con un rendimiento de 21.50 kg/m², en altura de planta 19.60 cm, diámetro de tallo 1.38 mm, en ancho de hoja 5.17 mm y el largo de la raíz fue 11.35 cm, mientras que en el sistema hidropónico los resultados fueron los siguientes, rendimiento 20.89 kg/m², en altura de planta 18.30 cm, diámetro de tallo 1.16 mm, en ancho de hoja 5.08 mm en largo de la raíz 11.75 cm. La relación costo-beneficio del sistema acuapónico e hidropónico, el resultado es mayor con el sistema acuapónico es de S/. 1.57 soles, mientras que el sistema hidropónico tiene una relación costo-beneficio de S/.1.19 soles. Se debe tener en consideración que por cada nuevo sol invertido en el sistema acuapónico se espera recibir un beneficio de S/.0.57 soles mientras en el sistema hidropónico es de S/. 0.19 soles. El beneficio que se percibirá por utilizar el sistema acuapónico es mayor en relación al sistema hidropónico.

Palabras Claves: Acuaponía, hidroponía, trucha, cebada.

ABSTRACT

Aquaponics is a technique in which nutrients of the fish breeding are taken advantage for vegetables and green forage production, achieving a reducing water consumption, because it is recirculating system and establishing the symbiosis between fish and plants. The purpose of the present study was to evaluate trout aquaponic system and hydroponics system in the production of green forage of barley. Hundred-fifty rainbow trout with an average weight of 60 g were used for the aquaponic system. Twenty-four kilograms of barley were used, as well. Data were analyzed with a completely randomized design (CRD), two treatments with twelve repetitions. Treatments were the aquaponic and hydroponic system. Results were higher in the aquaponics system in comparison to the hydroponics, with a 21.50 kg/m² of yield, 19.60 cm of plant height, 1.38 mm of stem diameter, 5.17 mm leaf width and 11.35 cm of root length. Hydroponic system results were the following: yield 20.89 kg/m², plant height 18.30 cm, stem diameter 1.16 mm, leaf width 5.08 mm and length of the root 11.75 cm. In addition, Cost-benefit ratio was greater with the aquaponic system (1.57 PEN), while the hydroponic system has a cost-benefit ratio of 1.19 PEN. Taking into consideration that for every PEN invested in the aquaponic system a profit of 0.57 PEN, while in the hydroponic system is 0.19 PEN. Thus, the aquaponic system is more profitable than the hydroponic system.

Key words: Aquaponics, hydroponics, trout, barley.

INTRODUCCIÓN

Los recursos de la tierra y el agua y la forma en que se utilizan son fundamentales para hacer frente al reto de mejorar la seguridad alimentaria en todo el mundo. Se observa que las presiones demográficas, el cambio climático y el aumento de la competencia por la tierra y el agua han vulnerado la seguridad alimentaria, en particular en países en vías de desarrollo (Aldaya *et al.*, 2011). Recientes investigaciones indican que la población humana y animal sigue aumentando, por lo cual es imperativo alcanzar un crecimiento agrícola que garantice el acceso de todas estas poblaciones. Por consiguiente, existen nuevas tecnologías en donde se puede criar truchas y producir forraje verde de cebada con la misma cantidad de agua ya que es un sistema recirculante y sin pérdida de esta, puesto que al producirse la trucha genera nutrientes para la producción de forraje verde de cebada.

La hidroponía se define como el cultivo de plantas en un medio libre de suelo, en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en lugar de suelo se puede utilizar como sustrato un material inerte, también ofrece varias ventajas, como la optimización del espacio de cultivo, la correcta nutrición de la planta, tiempos más cortos de cultivo, evitando el uso de herbicidas para la producción.

La acuaponía es un sistema recirculante en el cual los desechos metabólicos de los peces son aprovechados como nutrientes para la producción de forraje verde de cebada para crecer, mientras que las plantas limpian el agua y eliminan los compuestos tóxicos para los peces.

Este sistema de producción representa una importante alternativa para la producción de plantas ya que está siendo utilizada en otros países de manera viable y con múltiples ventajas, pero esta tecnología aun no es aprovechada en nuestra Región en la producción de forraje verde de cebada.

INDICE

PÁG.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

TITULO

CAPITULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. HIPÓTESIS.....	5

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. SISTEMA ACUAPÓNICO.....	6
2.1.1. Origen y antecedentes de la acuaponía.....	6
2.1.2. Generalidades de la acuaponía.....	7
2.1.3. Componentes del sistema acuapónico.....	9
2.1.5. Componentes biológicos del sistema acuapónico.....	9
2.2.ACUI CULTURA	13
2.2.1. Generalidades de la acuicultura	13
2.2.2. Antecedentes de la acuicultura.....	14
2.2.3. Acuicultura en el Perú.....	14
2.3. HIDROPONÍA.....	14
2.3.1. Antecedentes de la hidroponía	14
2.3.2. Importancia de la hidroponía	14
2.3.3. Ventajas y desventajas de la hidroponía	14
2.4. TRUCHA	16
2.4.1. Generalidades de la Trucha.....	16
2.4.2. Trucha en el sistema acuapónico	18
2.5. CEBADA	19

2.5.1. Generalidades de la cebada.....	19
2.5.4. Cebada en el sistema hidropónico.....	19

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO Y CROQUIS.....	23
3.2. UBICACIÓN POLÍTICA	23
3.3. MATERIALES	23
3.3.1. Instalaciones.....	23
3.3.2. Material biológico.....	24
3.3.3. Equipos y materiales	24
3.4. Construcción de estructura para el sistema acuapónico.....	26
3.4.1. Construcción del sistema acuapónico	27
3.4.2. Procedimiento para la producción de peces.....	27
3.4.3. Procedimiento para la producción de forraje verde hidropónico.....	29
3.4.4. Colección de datos	30
3.4.5. Variables independientes y dependientes analizados	31
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	33

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comparación de características morfológicas del sistema acuaponico de trucha y la hidroponía en la producción de forraje verde de cebada.....	34
4.2. Altura de planta.....	34
4.3. Largo de raíz	37
4.4. Ancho de hoja	40
4.5. Diametro de tallo.....	43
4.6. Rendimiento	45
4.7. Análisis costo - beneficio.....	47

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS.....	56
ANEXO IMÁGENES.....	67

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Parámetros y condiciones ambientales generales requeridas para el buen desarrollo de vegetales cultivados en acuaponia.....	12
Cuadro N° 2. Clasificación Taxonómica de la Trucha arco iris según Camacho.....	17
Cuadro N° 3. Número de muestras tomadas por característica medidas.....	30
Cuadro N° 4. Comparación de características morfológicas en la producción de forraje verde de cebada en los dos sistemas en altura de planta.....	34
Cuadro N° 5. Comparación de características morfológicas en la producción de forraje verde de cebada en los dos sistemas en largo de la raíz.....	37
Cuadro N° 6. Comparación de características morfológicas en la producción de forraje verde de cebada en los dos sistemas en ancho de hoja.....	40
Cuadro N° 7. Comparación de características morfológicas en la producción de forraje verde de cebada en los dos sistemas en diámetro de tallo	43
Cuadro N° 8. Comparación del rendimiento en la producción de forraje verde de cebada en los dos sistemas	45
Cuadro N° 9. Relación costo–beneficio del forraje verde de cebada en ambos sistemas ...	48

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico N° 1. Altura de planta del forraje verde de cebada.....	36
Gráfico N° 2. Largo de raíz del forraje verde de cebada.....	39
Gráfico N° 3. Ancho de hoja del forraje verde de cebada.....	42
Gráfico N° 4. Diámetro de tallo del forraje verde de cebada.....	45
Gráfico N° 5. Rendimiento del forraje verde de cebada.....	47

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las últimas investigaciones han demostrado que la conservación del agua será una de las prioridades más urgentes de la agricultura, estos estudios observaron que con el pasar del tiempo la población humana y animal aumenta mientras que la cantidad de agua mundial disminuye constantemente, señalando que es necesario el uso de nuevas tecnologías de producción de alimento y forraje, por ser sistemas amigables con el medio ambiente y que preserven los recursos naturales.

En la región de Apurímac, la producción de forraje verde de cebada para la alimentación animal se ve afectado por el crecimiento urbano haciendo cada vez más escaso la producción de forraje a través de tecnologías convencionales con el uso de tierras agrícolas, agravándose más con el uso indiscriminado de agroquímicos, de seguir así esta situación no habrá más tierras de uso agrícola orientado a la producción de forraje verde de cebada

El problema permanente es la escasez de producción de forraje verde de cebada para la producción de animales, otro problema evidenciado en la zona son las condiciones climáticas cambiantes muchas veces adversas, que se producen sequías, heladas, fenómenos que interfieren en lograr una producción adecuada y continua de forrajes.

Asimismo, se sabe la escasez de agua en muchas de las comunidades, es un factor limitante para la producción de forraje de calidad, además las tierras son poco productivas y las condiciones climatológicas son adversas, por lo que se hace difícil la producción de forraje verde en cantidad y calidad deseada, sumado a esto el uso inadecuado de herbicidas para la producción de forraje verde de cebada, causando la degradación del suelo.

¿Cuál será el comportamiento del sistema acuapónico y el sistema hidropónico en la producción de forraje verde de cebada en Abancay?

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el sistema acuapónico de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y el sistema hidropónico en la producción de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare*).

1.1.2. Objetivos Específicos

- Comparar las características morfológicas de la producción de forraje verde de cebada en el sistema acuapónico de trucha y la hidroponía.
- Determinar el rendimiento de los dos sistemas de producción de forraje verde de cebada.
- Analizar la relación costo-beneficio en ambos sistemas de producción de forraje de forraje verde de cebada.

1.2. JUSTIFICACIÓN

. La producción de forraje verde de cebada es una alternativa frente a la falta de forraje en los periodos de estiaje, ya que no requiere de grandes extensiones de tierras, tampoco requiere periodos prolongados para su producción; Se empleará agua en un sistema recirculante conservado casi el 100% del mismo en todo el proceso, dado que los nutrientes serán aportados por la excreción de los peces, en lo cual no sólo se producirán forraje verde hidropónico sino también se crían tilapias para consumo humano de tipo orgánico de alto valor proteico y nutritivo.

Frente a este contexto, se plantea el presente estudio como alternativa de producción de forraje verde de cebada en sistema acuapónico, y se compara con el sistema hidropónico, para determinar cual hace un uso más eficiente de los recursos. Asimismo, el sistema acuapónico y el sistema hidropónico surgen como una solución a los problemas mencionados previamente, por ser sistemas que evitan la pérdida de agua.

Adicionalmente el sistema acuapónico promueve la producción orgánica de forraje verde de cebada y a la vez la producción de peces para el consumo humano. Con ello se estaría logrando producir un doble beneficio con un sistema idóneo para el contexto de cambio climático actual.

Es así que el empleo del sistema acuapónico surge como una solución a los problemas observados anteriormente, por ser un sistema que no utiliza grandes cantidades de agua. Además, es un sistema que puede ser implementado en lugares que estén próximos al área donde se encuentran los consumidores (humanos y animales), Asimismo, el sistema acuapónico aumenta la producción local de forraje verde de cebada libre de pesticidas y herbicidas.

1.3. HIPÓTESIS

Con el sistema acuapónico de trucha se puede mejorar la producción de forraje verde de cebada para la alimentación animal en comparación al sistema hidropónico.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. SISTEMA ACUAPÓNICO

2.1.1. Origen y antecedentes de la acuaponía

Rakocy y Hargreaves, (1993). Menciona que los primeros pasos en este campo, comenzaron en la década de los setenta con investigaciones que buscaban desarrollar sistemas de cultivo de peces a pequeña escala. Para el año 1971, en éste mismo instituto se decide comenzar la investigación sistemática sobre la irrigación de vegetales con agua provenientes del sistema acuícola.

Hasta la década de los ochenta, la mayoría de los intentos para integrar la hidroponía y la acuicultura tuvieron éxitos limitados; sin embargo, en 1986, gracias a las innovaciones en los sistemas de recirculación propuestas por McMurtry *et al.* (1997), fue creado el primer sistema acuapónico (llamado sistema acuavegocultivo) que utilizó los efluentes de tilapia dentro de un cultivo de tomate.

Graber & Junge, (2009). Ya cerca de la década de los noventa se comienza a mencionar la ventaja del cultivo en tanques, se integran la producción de plantas y los sistemas de recirculación. Estudios más recientes muestran que los sistemas acuapónicos deben tener una orientación hacia la producción intensiva en pequeña escala y que además sean sustentables.

2.1.2. Generalidades de la acuaponía

Rakcoy & Hargreaves (1993) La acuaponía se visualiza como una alternativa de producción agropecuaria dirigida al desarrollo sostenible, ya que ha sido propuesta como un método para el control de la acumulación de desechos producidos por el cultivo acuícola, y puede definirse como la integración de la producción de plantas de forma hidropónica a un sistema de recirculación en acuicultura. En términos generales, la acuaponía es un sistema de producción orgánica en el cual los desechos producidos por algún organismo acuático (por lo general peces), son convertidos a través de la acción bacteriana en nitratos, los cuales, sirven como fuente de alimento para plantas.

Diver, Graber, & Junge, (2006 & 2009). Mencionan que este modelo sirve para una producción sostenible de alimentos, de acuerdo con los principios de reutilización de aguas residuales, la integración de sistemas acuícola-agrícola en un policultivo que incrementa la diversidad y producción final, y la posibilidad de obtener productos “más sanos” con importantes impactos socioeconómicos a nivel local.

Ramírez *et al.* (2008) menciona que los sistemas acuapónicos presentan varias ventajas entre ellas se destacan las siguientes:

- Se genera una producción integrada de peces y plantas puesto que los productos de desechos de los peces sirven como nutrientes para las plantas.
- Se aumenta la producción local de alimentos y se producen alimentos más saludables debido a que no se aplican pesticidas ni herbicidas.

- Se incrementa la economía local al eliminar el costo y el tiempo involucrados con las mezclas de nutrientes en los cultivos hidropónicos.
- Al eliminar el suelo para la producción vegetal se descartan la mayoría de las enfermedades transmitidas por el mismo.
- El agua es re-utilizada a través de filtración biológica y la recirculación, por lo que estos sistemas utilizan solo una fracción del agua (1-5%) de la utilizada tradicionalmente en la agricultura en campo abierto, pues el agua no es desechada ni tomada por las malas hierbas.
- Utiliza el 1% del agua invertida en piscicultura en un cultivo en estanque de tierra.

Así mismo **Iturbide, (2008)**; dice que la acuaponia tiene los siguientes principios:

- Los desechos de los peces sirven como nutrientes para la producción de vegetales.
- La combinación de peces y plantas se considera como policultivo.
- La recirculación es el ahorro del agua en el sistema.
- La producción de alimentos en sistema acuapónico es orgánico y saludable.

2.1.3. Componentes del sistema acuapónico.

Los componentes del sistema acuapónico son los siguientes:

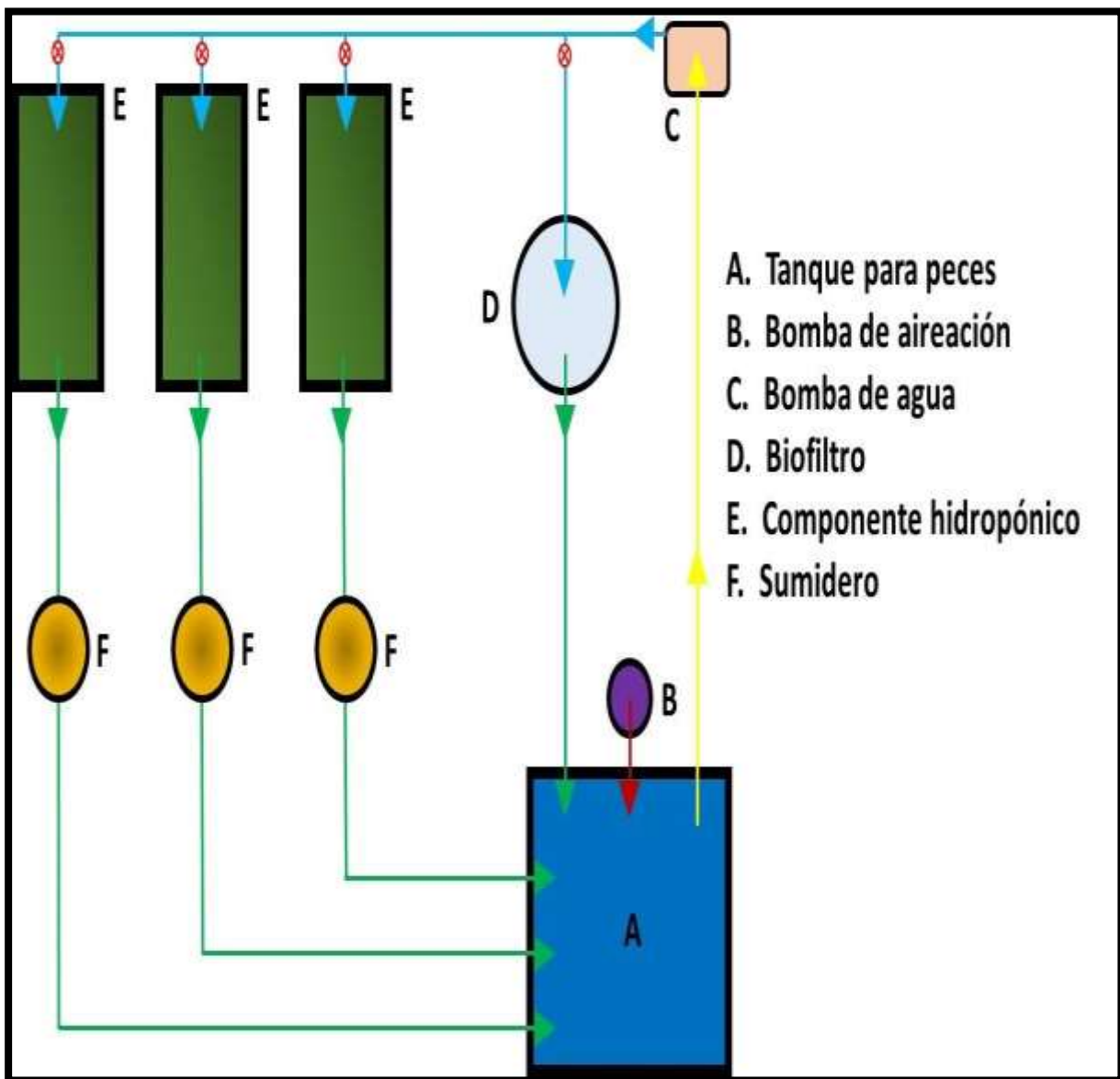
- a) Tanque para cultivar peces
- b) Bomba de agua
- c) Biofiltro

- d) Componente hidropónico
- e) Sumidero

Todos los componentes antes mencionados pueden observarse en la siguiente figura.

FIGURA N° 01.

COMPONENTES DEL SISTEMA ACUAPÓNICO



Fuente: Colagrosso, 2014.

2.1.4. Componentes biológicos del sistema acuapónico

a) Los peces

Candarles, P. (2016). La biomasa de peces deberá ser mantenida cerca de la capacidad máxima del sistema, para aprovechar el espacio disponible y maximizar la producción, garantizando un suministro de alimento constante; ya que este será un precursor de los nutrientes desinados a los vegetales. De esta forma, se deberá dimensionar correctamente el componente hidropónico. Además, existen excepciones con respecto a esta distribución de ingresos, con determinadas producciones piscícolas de alto valor comercial.

b) Las bacterias

Colagrosso, A. (2014). Menciona en su trabajo que (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) son bacterias nitrificadoras y se encuentran libremente en la naturaleza y son las encargadas de colonizar los sustratos del biofiltro y de las camas en forma natural.

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

c) Las plantas

Los vegetales son los últimos componentes biológicos que entran en un sistema acuapónico.

Se puede escoger muchas hortalizas, hierbas aromáticas y hasta ornamentales. La producción de plantas dentro del sistema comercial acuapónico, representa aproximadamente entre 66 y 90 % de las ganancias obtenidas, según algunas referencias.

Muchos vegetales se han cultivado con resultados optimas, para lo cual en el siguiente cuadro se puede apreciar los vegetales cultivados.

Cuadro N° 1. Parámetros y condiciones ambientales generales requeridas para el buen desarrollo de vegetales cultivados comúnmente en acuaponía.

Especie cultivo	de pH	Plantas/m²	Tiempo germinación	Tiempo crecimiento	Temperatura (°C)	Exposición solar
Albahaca	5.5 - 6.5	8 - 40	6 - 7 días	5 - 6 semanas	20 - 25	Moderada/Alta
Coliflor	6.0 - 6.5	3 - 5	4 - 7 días	2 - 4 meses	10 - 20	Alta
Lechugas	6.0 - 7.0	20 - 25	3 - 6 días	4 - 5 semanas	15 - 22	Moderada/Alta
Pepinos	5.5 - 6.5	2 - 5	3 - 6 días	7 - 9 semanas	18 - 26	Alta
Berenjenas	5.5 - 7.0	3 - 5	8 - 10 días	3 - 4 meses	15 - 25	Alta
Morrones	5.5 - 6.5	3 - 4	8 - 12 días	2 - 3 meses	15 - 30	Alta
Tomates	5.5 - 6.5	3 - 5	4 - 7 días	2 - 3 meses	15 - 25	Alta
Repollo	6.0 - 7.2	4 - 8	4 - 7 días	6 - 10 semanas	15 - 20	Alta
Brócoli	6.0 - 7.0	3 - 5	4 - 7 días	2 - 3 meses	10 - 20	Moderada/Alta
Acelga	6.0 - 7.5	15 - 20	4 - 5 días	4 - 5 semanas	15 - 25	Moderada/Alta
Perejil	6.0 - 7.0	10 - 15	8 - 10 días	3 - 4 semanas	15 - 25	Moderada/Alta

Fuente: Técnicas de Acuaponía (Adaptado de Candarles, 2016).

2.2. ACUICULTURA

2.2.1. Generalidades de la acuicultura

Pillay & Kutty (2005). La acuicultura, hace referencia a todas las formas de cultivo de animales acuáticos (peces, moluscos y crustáceos) y plantas de medios de agua dulce, salobre o marina.

2.2.2. Antecedentes de la acuicultura

Guangzhi, (2001). La acuicultura ha sido el sistema de producción alimenticia con el crecimiento más rápido debido a la demanda de alimentos, la gran demanda de productos marinos, la decadencia de las poblaciones silvestres y el decreciente acceso a la pesca.

2.2.3. Acuicultura en el Perú

Produce, (2007) señala que la acuicultura en el Perú tiene un escaso nivel de desarrollo, comparado con otros países de la región, y está orientada al cultivo de pocas especies. El cultivo de trucha se desarrolla en zonas altoandinas y está dirigido al mercado local como para la exportación. Otras especies producidas en zonas tropicales son peces nativos (gamitana, paco y boquichico), y e orientan al mercado local. Asimismo, la tilapia es cultivada en selva alta para consumo local; y en la costa norte del país, para mercado interno y para exportación.

2.3. HIDROPONÍA

2.3.1. Antecedentes de la hidroponía

Rodríguez, S. (2000), afirma que: investigador alemán Justus Von, desarrolló su teoría mineral de los fertilizantes y afirmó que el suelo aportaba solamente compuestos solubles e inorgánicos, en contraposición a la teoría del humus, que era la más aceptada en ese momento, que consideraba que la materia orgánica del suelo era la única fuente del carbón que absorbían las plantas.

2.3.2. Importancia de la hidroponía

Samperio, (1997) dice que: En un mundo superpoblado, con suelos erosionados e índices cada vez mayores de contaminación, con climas cambiantes y mayores requerimientos ecológicos de la población, la hidroponía, por sus especiales características, brinda nuevas posibilidades donde los cultivos tradicionales están agotados. La hidroponía resulta muy conveniente, pues no se tiene que depender ni de las temporadas de siembra, como en la agricultura tradicional, ni de las variaciones del clima. Es una excelente solución al problema de la producción en zonas áridas o muy frías, en las que la agricultura resulta muy difícil aplicarse. Hasta ahora, los establecimientos dedicados a los cultivos hidropónicos, han estado orientados fundamentalmente a la producción de alimentos para el hombre, aunque sus posibilidades son mucho más amplias, pudiendo ser también para la nutrición animal a través del cultivo de forraje verde hidropónico. El forraje verde hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos de leguminosas o gramíneas (alfalfa, trigo, cebada, sorgo, maíz, etc.), que se realiza captando la energía del sol y absorbiendo los nutrientes disueltos en la solución hidropónica.

Con el forraje verde hidropónico se puede alimentar sin inconvenientes ganado vacuno, porcino, caprino y equino, conejos y una gran cantidad de animales domésticos con excelentes resultados.

2.3.3. Ventajas y desventajas de la hidroponía

Mera, (2018). Manifiestan las principales ventajas del cultivo hidropónico son:

- Mayor calidad en los productos cosechados.
- Mayor uniformidad en la cosecha.
- Ahorro en agua y fertilizantes por kilogramos producido.
- Se puede usar agua dura o de cierta salinidad
- Mayor limpieza e higiene en los productos obtenidos.
- Posibilidad de varias cosechas al año.
- Altos rendimientos por unidad de superficie.
- En poca superficie se puede lograr un alto rendimiento.
- Sin la limitante del suelo, puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes urbanos, (OASIS - EASY PLANT, 2014).
- Además, virtualmente es posible instalar un sistema hidropónico en cualquier parte del mundo, aún en zonas urbanas, convirtiendo a cualquier vivienda en una potencial zona agrícola

Menciona también que existen algunas desventajas:

- Inversión inicial elevada.
- Desconocimiento de la técnica.
- Delicada (mucho cuidado con los detalles).
- Falta de equipo e insumos nacionales.

- Necesidad de un mercado seguro y de preferencia selecto.

Se puede considerar que las desventajas de esta la hidroponía son prácticamente pocas con respecto a la agricultura tradicional. Se necesita un análisis básico inicial de la cantidad de agua y entrenamiento para preparar y mantener las soluciones nutritivas. Principalmente, la hidroponía es una técnica que requiere de conocimiento especializado para su uso práctico González, (2008).

2.4. TRUCHA

2.4.1. Generalidades de la Trucha

Maiz, P. (2010) afirma: Esta especie se caracteriza por tener el cuerpo cubierto con finas escamas y de forma fusiforme (forma de huso). La coloración de la trucha varía de acuerdo al ambiente en que vive, edad, estado de maduración sexual y otros factores, como por ejemplo la influencia del ambiente en riachuelos, esto es, en ambientes sombreados presentan color plomo oscuro mientras que en un estanque bien expuesto a los rayos del sol ofrece una tonalidad mucho más clara, verde oliva en su parte superior, luego una franja rojiza para finalizar con el abdomen blanco.

Cuadro N° 2. Clasificación Taxonómica de la Trucha arco iris según Camacho *et.al.* (2000)

Reino	Animal
Phylum	Chortada
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Pisces
Clase	Osteichthyes
Subclase	Actinopterygii
Orden	Salmoniformes
Familia	Salmonidae
Genero	Oncorhynchus
Especie	Mykiss
Nombre Científico	<i>Oncorhynchus Mykiss</i>
Nombre Común	Trucha arco iris

Fuente: Camacho *et al.* (2000)

Rosado & Erazo, (2001). El nombre genérico (*Oncorhynchus*) quiere decir “nariz ganchuda”. Esta característica se observa más claro en los machos, especialmente en la época de reproducción, ya que en este período se desarrolla un gancho o abultamiento en la mandíbula inferior, llamado prognatismo, *Oncorhynchus mykiss* es una salmónido el cual se distingue por presentar un cuerpo fusiforme y alargado; una cabeza pequeña y una boca puntiaguda, la cual esta hendida hacia los ojos y posee una fila de dientes fuertes en cada una de las mandíbulas que le permiten atrapar sus presas.

Saga & Román, (1995) también es un pez que habita aguas puras y cristalinas, con cauces que presentan marcados desniveles topográficos que originan rápidos, saltos y cascadas que son muy comunes en los ríos de alta montaña, estos rápidos con una pronunciada velocidad de corriente y suelo pedregoso son los más frecuentados por la especie. De manera que estos peces están adaptados a regiones elevadas y montañosas donde existen aguas frías y claras siendo, en general, la

región montañosa andina apropiada para el cultivo de este pez, puesto que cuenta con zonas aptas de aguas cristalinas y bien oxigenadas.

La trucha habita en agua dulce, muy oxigenada y con una temperatura que fluctúa entre 0 a 21 °C. Normalmente la trucha arcoíris se adapta a las temperaturas bajas, pero la temperatura óptima para su desarrollo normal oscila entre 13°C y 18 °C.

2.4.2. Trucha en el sistema acuapónico

A continuación, se presenta algunos de los trabajos de investigación en el que se utilizaron truchas en sistemas acuapónicos.

Chamorro et al. (2011), evaluaron de manera preliminar el desempeño de un sistema acuapónico con lechuga (*Lactuca sativa*) con el objetivo de ayudar a remover los contaminantes del agua y de esta forma mejorar la calidad del líquido en el sistema de acuaponico para el cultivo de peces. Los resultados encontrados fueron que los valores de oxígeno disuelto y pH permanecieron dentro de los límites recomendados para los cultivos; el sistema mostró su capacidad para remover solidos suspendidos, turbiedad y color aparente y se evidenciaron heterogeneidades en cuanto al desempeño de remoción de DQO, nitritos y nitratos. Además, e obtuvo un crecimiento de 1.15 g/d en *O. mikyss* y una conversión alimenticia de 1.43 para dicho sistema.

Por su parte, **Blank et al. (2016)**, realizaron una investigación en la crianza de trucha arcoíris a pequeña escala en un sistema acuapónico con el objetivo de observar cómo se desarrollaría la trucha arcoíris en sistema acuapónico en Delaware (Estados Unidos) y si ellos podían producir trucha arcoíris para la primavera. Es así que encontraron los siguientes resultados: las truchas arcoíris

crecen en promedio de 1,47 g/d en el sistema acuapónico, el porcentaje de sobrevivencia fue de hasta 92% en el sistema. Los niveles de nitrato se elevaron durante los 140 días del experimento y no todas las lechugas alcanzaron su tamaño mínimo de cosecha (20 cm) al mismo tiempo.

2.5. CEBADA

2.5.1. Generalidades de la cebada

Rimache, (2008), la cebada (*Hordeum vulgare L.*) fue una de las primeras especies en ser cultivadas por el ser humano en el inicio de la agricultura. Algunos autores indican que este proceso se dio en dos centros de origen situados en el Sudeste de Asia y África septentrional.

Mateo, (2005), la cebada pertenece a la subfamilia Poideae, dentro de la familia Poaceae e incluye plantas cultivadas y espontaneas. Todos los tipos cultivados se agrupan en una sola especie poliforma *Hordeum vulgare*.

Segun Pérez, (2010), la clasificación botánica de la cebada pertenece al:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Género: *Hordeum*
Especie: *vulgare L.*

Candía, (2014), también afirma: a nivel mundial, la cebada ocupa el cuarto lugar por producción entre los cereales, después del trigo, maíz y arroz. Se cree que fue una de las primeras plantas domesticadas al comienzo de la agricultura. Estudios

arqueológicos sitúan el comienzo del cultivo de la cebada en el Neolítico.

Muñoz,M (2007); Citado por Baldoce, (2015). La cebada se puede clasificar según distintos criterios, siendo los más comunes:

Hábito de crecimiento.

- a) Morfología de la espiga.
- b) Uso final.
- c) Por cubierta de grano

López, (1991), dice la causa de que la cebada continúe siendo un cereal importante después de tantos siglos de cultivo, se debe a su amplia adaptación ecológica, a su utilización, tanto para alimentación animal como humana y a la alta calidad de la malta de cebada para la fabricación de cerveza. En las últimas décadas el área cultivada de cebada en el mundo se ha incrementado más rápidamente que la del trigo y el arroz, y la evolución de sus rendimientos ha sido superior al arroz aunque inferior a la del maíz y el trigo.

González, (2001), manifiesta que la cebada se cultiva en una diversidad de ambientes más amplia que ningún otro cereal. La mayor parte de la cebada es producida en regiones con clima desfavorable para el cultivo de los otros cereales. Sólo el trigo puede competir con ella en esta amplitud de adaptación, aunque en las áreas climáticas donde ambos cultivos prosperan, la cebada se adapta mejor a las condiciones marginales de clima y suelo.

2.5.4. Cebada en el sistema hidropónico

Varias son las investigaciones donde se utilizó la cebada en la producción de forraje verde hidropónico:

Sánchez et al. (2013), realizaron un estudio para determinar la producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso en borregos, en el que compararon tres densidades de semilla de dos especies (4.7, 5.2 y 5.7 kg/m² para trigo, y 3.5, 3.9 y 4.3 kg/m² para cebada). Es así que Sánchez et al. (2013), concluyen que tanto el forraje verde hidropónico de trigo como el de cebada tuvieron rendimientos por unidad de superficie similares, aunque el forraje de cebada tuvo valores más altos de conversión de peso de semilla a peso de forraje verde. Asimismo, informan que las densidades de siembra que presentaron los valores más altos de conversión de semilla a forraje verde fueron de 4.7 kg/m² en trigo y 3.5 kg/m² en cebada. Al incrementar la densidad, la relación de conversión de peso de semilla a peso de forraje verde disminuyó en ambos cultivos. Y por último mencionan que en la alimentación de borregos Pelibuey con propósitos de engorda, el uso del forraje verde hidropónico de trigo se muestra como una alternativa técnica y económicamente viable en relación a otros tipos de dieta.

Candía,(2014), por otro lado, para evaluar la calidad nutritiva de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*), se realizó un experimento en el cual se usaron diferentes concentraciones de guano de cuy: a 100 g/L (T1) y 200 g/L (T2) y una solución comercial (T3) que sirvió como control, donde se midieron las siguientes variables: los porcentajes de Materia Seca (MS), Proteína, Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra Detergente Acido (FDA) y el rendimiento de nutrientes (Kg/m²). El estudio obtuvo como resultados de que la aplicación de la solución de guano de cuy a 100 g/L y 200 g/L no causa alteraciones evidentes de deficiencia nutricional o fitotoxicidad, observándose que presentan adecuadas concentraciones de macro elementos esenciales para el desarrollo y crecimiento

normal de las plantas. Además de que con la utilización de soluciones de guano de cuy de 100 g/L y 200 g/L se obtuvo un mejor rendimiento forrajero y mayor producción de nutrientes (Kg/m^2). Asimismo, con el uso de la solución de guano de cuy a 200 g/L se obtuvo mayor altura de los tallos. Finalmente, que la utilización de forraje verde hidropónico de cebada fertilizada con soluciones de guano de cuy podría considerarse una buena opción para incrementar la productividad por ser buen suplemento proteico.

Orellana, (2015), dice Con el objetivo de evaluar niveles de fertilización en cebada en un sistema de forraje verde hidropónico, para encontrar alternativas tecnológicas primordiales, los tres niveles de fertilización en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) con una solución madre las cuales la componían dos tipos: Solución nutritiva A (SA) y Solución nutritiva B (SB). En los tratamientos se aplicó de la siguiente manera: para el tratamiento 1 (T1) 1cc SA + 0.25cc SB, tratamiento 2 (T2) 1.25cc SA + 0.5cc SB y al tratamiento 3 (T3) 1.5cc SA + 0.75c.

CAPITULO III

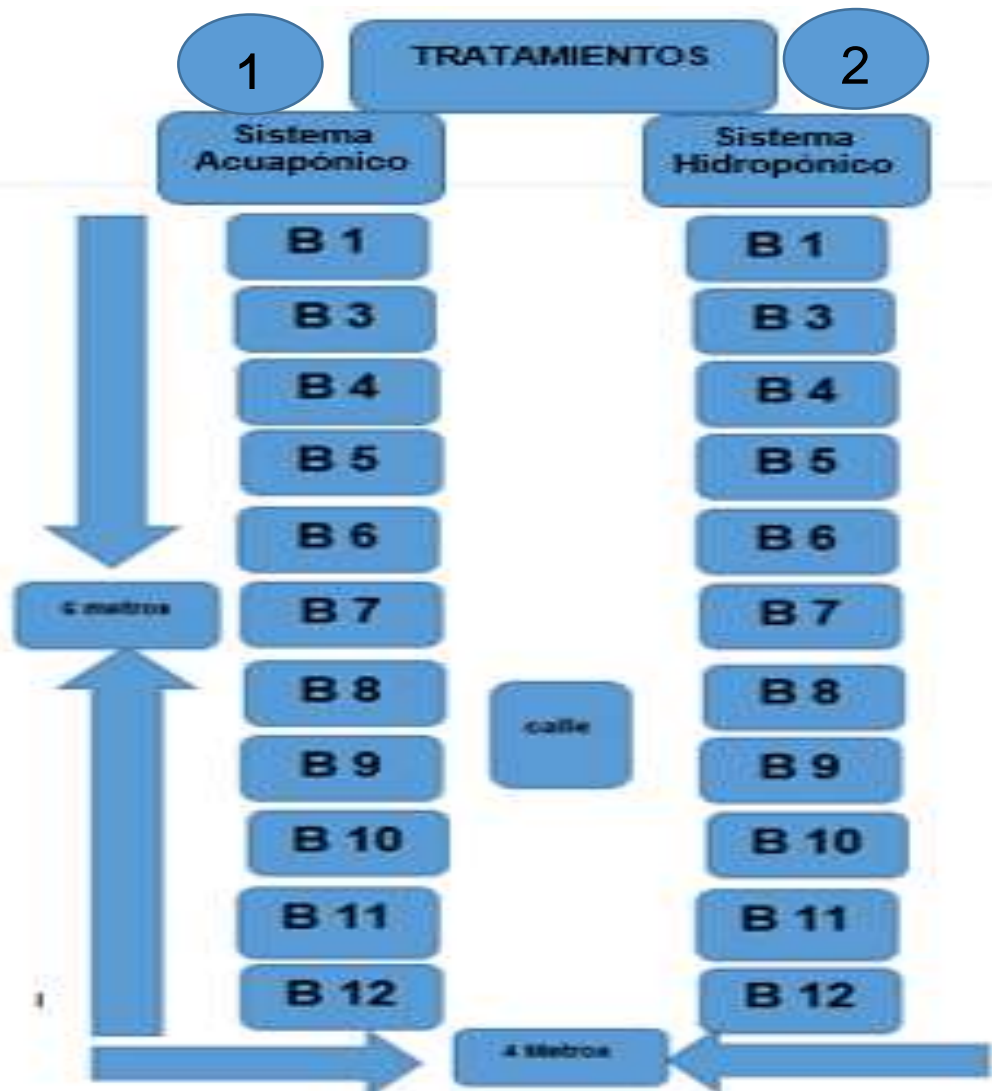
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO Y CROQUIS

La presente investigación se realizó en la azotea del domicilio ubicado en el jirón honduras 116, de la urbanización Las Américas en el mes de febrero del 2018. La ubicación se puede ver en el Anexo N°. 01.

3.2. UBICACIÓN POLÍTICA

El estudio fue realizado en la provincia de Abancay, geográficamente ubicada en el Nor Centro de la región Apurímac entre las coordenadas UTM: Por el Norte 727 476. 66E y 8518 992.27N; por el Sur 727 479.44E y 8432 343.34N; por el Este 781 309.90E y 8499 346.20N; por el Oeste 698 759.62E y 8513 070.15N, con una superficie de 3447.13 km² que representa el 16,50% del área total de la Región, su capital es el distrito del mismo nombre, cuya ciudad está ubicada en las coordenadas 13°38'33" latitud sur y 72°52'54" longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 2378 msnm **DNTDT, (2006)**.



¹ Sistema Hidropónico, ² Sistema Acuapónico.

3.3. MATERIALES

3.3.1. Material biológico

Para el cultivo de peces, se emplearon un total de 150 truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles 1, con un peso promedio de 60 gramos, las truchas fueron adquiridas de la piscigranja Huertas.

Por su parte, para la producción del forraje hidropónico, se emplearon 24 kilogramos de cebada (*Hordeum vulgare*) de la variedad INIA 411 San Cristóbal.

3.3.2. Equipos y materiales

Los materiales utilizados para construir el sistema acuapónico fueron:

- Adaptador
- Aspersores
- Bandejas de plástico (0.40m X 0.55m)
- Biofiltro
- Bomba centrífuga (0.5 hp)
- Boya de agua
- Cable mellizo
- Canaletas de PVC
- Cinta aislante
- Cinta teflón
- Codos de 1 pulgada
- Codos de ½ pulgada
- Enchufe de plástico
- Declorador
- Interruptor termomagnético
- Niples de PVC
- Pegamento
- Plástico color negro
- Socket de plástico
- Tacho de plástico de 50 litros

- Tapa rosca descartables (700 unidades)
- Tapones de PVC de 4 pulgadas
- Tees recta de PVC de 1 pulgada
- Tees recta de PVC de ½ pulgada
- Temporizador digital
- Termómetro digital
- Tubos de PVC de 4 pulgadas
- Tubos de PVC de 1 pulgada
- Tubos de PVC de ½ pulgada
- Uniones mixtas de PVC
- Uniones universales de PVC de 1 pulgada
- Uniones universales de PVC de ½ pulgada

Los materiales utilizados para la recolección de datos, fueron:

- Balanza electrónica 34 Kg.
- Cámara fotográfica
- Hojas de registro
- Lapiceros
- Micrómetro digital
- Regla de 30 cm
- Tablero de plástico

Las sustancias utilizadas en el experimento fueron:

- Solución concentrada A de macronutrientes
- Solución concentrada B de micronutrientes

- Hipoclorito de sodio 1% equivalente a 10000 ppm

3.3.3. Instalaciones

Para el forraje verde hidropónico, se construyó una estructura metálica de 2.00 metros de altura, 2.00 metros de largo y de 0.40 metros de ancho. La estructura tenía 4 niveles con separaciones cada 0.50 metros para las bandejas. Adicionalmente se acondicionó 12 ganchos metálicos (3 por nivel) para sostener las canaletas de PVC, todos los niveles presentaban inclinación para la caída del agua (Anexo 02 y 03).

Para la crianza de peces, se utilizó una piscina portátil rectangular de plástico con las siguientes dimensiones: 2.20 metros de largo, 1.50 metros de ancho y 0.60 metros de profundidad, con capacidad para 3500 litros de agua (Anexo 04 y 05).

Posteriormente, ambas instalaciones fueron ensambladas para formar el sistema acuapónico, la descripción del ensamblado se detallará más adelante.

3.4. Construcción de estructura para el sistema acuapónico

De acuerdo a investigaciones previas, existen diferentes formas para construir la estructura del sistema acuapónico, dependiendo principalmente de la cantidad de peces y forraje verde a producir. Sin embargo, hay ciertos procesos y componentes que son inevitables en el sistema acuapónico, debido a su importancia para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Para el armado de la estructura del sistema acuapónico en el presente estudio, se realizó el siguiente procedimiento:

a) Componente Acuicola

Se inició con el armado de la piscina de plástico y la construcción del biofiltro con un tacho de plástico, al cual se le añadió las 700 tapa-roscas descartables, la parte baja lateral de la piscina se conectó a la parte central del biofiltro mediante los tubos de PVC. Seguidamente, para la oxigenación del sistema, se incorporó un tubo de 1 metro de altura que fue conectada a la parte baja de la piscina, a su vez el mismo tubo se conectó a la entrada de la bomba centrífuga, dicha instalación facilitó el proceso de oxigenación de los peces.

b) Componente Hidropónico

Para el sistema de riego del componente hidropónico, a cada nivel de la estructura metálica (construida anteriormente) se le acopló 1 tubo de 2 metros de forma horizontal, al cual previamente se le instalaron micro aspersores (2 por nivel). Posteriormente, los 4 tubos fueron acoplados con tees a un tubo de 2 metros en posición vertical, el tubo verticalmente posicionado fue unido a la salida de la bomba centrífuga mediante diferentes tipos de tubos de PVC (codos, unión mixta y unión universal). Para el drenaje del agua, se instalaron a cada nivel una canaleta de PVC que se acopló a un tubo de dos metros (en posición vertical) mediante tees. A su vez, este tubo se unió mediante un codo de PVC a otro tubo en posición horizontal, con el objetivo de que este desemboque el agua de las bandejas en la piscina para que cumpla el ciclo de recirculación del agua.

3.4.2. Procedimiento para la producción de peces

Posterior al armado de la piscina se realizaron otras actividades para la producción de peces en sistema acuapónico, estas actividades tuvieron como referencia las

publicaciones realizadas por el Centro de Estudios para el Desarrollo y la Participación (CEDEP, 2009) y Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES, 2014):

- **Acondicionamiento de la piscina.** - La piscina fue ubicada sobre una estructura metálica, para acoplar la piscina con el resto del sistema acuapónico.
- **Limpieza de la piscina.** - Para limpiar la piscina, se combinó hipoclorito de sodio al 1% en 15 litros de agua (1 gota por litro de agua), con este preparado se desinfecto la piscina.
- **Llenado de la piscina.** - Se depositó 1500 litros de agua en la piscina.
- **Medición de la temperatura.** - Previo a la siembra de peces, se midió la temperatura del agua, que tenía 17 °C. Al momento de la siembra el agua tenía 18 °C. Este procedimiento se repitió diariamente, los horarios en lo que se realizó estas mediciones fueron: a las 8 am, 12 pm y 6 pm.
- **Medición del pH.** - La medición del pH se realizó el día 1 antes de la siembra de peces tenía un pH de 8.1, el día 7 se procedió a medir y se obtuvo un pH de 8.2 y día 15 también se procedió a medir el pH y se encontró un pH de 8.2 esto fue el día del recojo de muestras del forraje verde de cebada.
- **Siembra de peces.** - 150 peces que fueron trasladados desde la piscigranja hasta la piscina armable con sumo cuidado, midiendo la temperatura del agua, fueron depositados en la piscina 3 días previos al día 1 del experimento, para realizar un proceso de aclimatación.

- **Alimentación.** - La alimentación se realizó diariamente y en dos horarios (a las 8 am y 1 pm), la cantidad de alimento suministrado fue de 65 g por horario.

3.4.3. Procedimiento para la producción de forraje verde hidropónico

- **Pre lavado.** - En un tacho de 100 litros de capacidad, se depositó la semilla de cebada a evaluar, con el propósito de separar aquellas semillas que emergen a la superficie del agua, así como bagacillo espigas silcahui.
- **Lavado.** - las semillas de cebada se lavaron y se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 1% equivalente a 10000 ppm, con una preparación de 3 ml de solución de cloro comercial por 20 litros de agua. Se dejó remojar en esta solución durante 1 minuto. Posteriormente, se enjuagó con agua limpia hasta en tres ocasiones.
- **Remojo.** - Las semillas se sumergieron en agua por un periodo de 24 horas. Luego se dejó oreando por un tiempo de 8 horas.
- **Siembra.** - Para el pre-germinado, se colocó 1 kg de semilla de cebada por bandeja (un total de 12 kilogramos de semillas de cebada).
- **Germinación.** - Para evitar la incidencia de luz, las bandejas fueron ubicadas en el andamio y se cubrieron las bandejas con papel periódico mojado; asimismo, los andamios fueron cubiertos con un plástico negro, de esta forma asegurar la germinación (proceso conocido como la fase oscura).
- **Riego en sistema hidropónico.** - Los tres primeros días se regaron 6 veces por día (a las 7 am, 9 am, 11, am, 1 pm, 3 pm y 5 pm) con agua pura. A partir del cuarto día, las bandejas se regaron con la solución nutritiva hasta el día 13 (a las

6 am, 10 am, 2 pm y 6 pm). Posterior al día 13, en los días 14 y 15 se regaron las bandejas con agua pura (en el mismo horario).

- **Riego en sistema acuapónico.** - Los tres primeros días se regaron 6 veces por día (7 am, 9 am, 11 am, 1 pm, 3 pm y 5 pm). A partir del cuarto día, las bandejas se regaron en los siguientes horarios hasta el día 13 (a las 6am, 10 am, 2 pm y 6 pm). Posterior al día 13, en los días 14 y 15 se regaron las bandejas con agua pura (en el mismo horario).
- **Cosecha.** - la cosecha se realizó a los 15 días, de todas las bandejas utilizadas. La cosecha del forraje verde hidropónico y la acuaponía consistió en el contenido total de la bandeja como hojas, tallos, el colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semigerminadas.

3.4.4. Colección de datos

De las 24 bandejas de forraje verde hidropónico obtenidas, 12 bandejas pertenecientes al sistema hidropónico y 12 bandejas correspondientes al sistema acuapónico. Se colectaron 5 muestras al azar de cada bandeja. En el Cuadro 3 se observa el total de muestras obtenidas por las características medidas.

Cuadro N° 3. Número de muestras tomadas por característica media

Descripción	Hidropónico	Acuapónico
Peso fresco, g	12	12
Altura de planta, cm	60	60
Largo de raíz, cm	60	60
Ancho de hoja, mm	60	60
Diámetro de tallo, mm	60	60

SN: solución nutritiva, A: acuaponía.

Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Variables independientes y dependientes evaluadas

- **Variables independientes.** - Sistema acuapónico y sistema hidropónico
- **Variables dependientes.** - variables dependientes de la investigación son:

a) Peso fresco del forraje verde de cebada

El peso del forraje verde hidropónico y acuapónico consistió en el peso total de la biomasa que contenía la bandeja como hojas, tallos, el colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semi-germinadas, realizado a todas las bandejas.

b) Altura de planta

Se procedió a medir la altura de forraje verde hidropónico. Para ello se tomó aleatoriamente 5 muestras de diferentes áreas de cada bandeja y se midió con una regla, desde la base del grano hasta la parte distal de la hoja.

c) Largo de raíz

Para la recopilación de los datos de esta variable, se realizó a las mismas plantas evaluadas con respecto a la variable de la altura de planta una medición desde el cuello hasta la punta de la raíz, haciendo uso de la regla.

d) Ancho de hoja

La medición de esta se realizó ubicando el punto central de la altura de hoja, las patas del vernier se ubican en ambos lados de la hoja y los datos fueron tomados en milímetros.

e) Diámetro de tallo

Se tomaron 5 muestras de cada bandeja al azar, se midió con las patas del vernier el diámetro del tallo, los datos fueron tomados en milímetros.

f) Rendimiento

Para poder determinar esta variable, se registró el peso de forraje verde hidropónico y acuapónico cosechado de cada bandeja y se calculó el equivalente de la producción de forraje verde hidropónico por cada m² de superficie.

g) Relación Costo-Beneficio

La relación costo-beneficio se determinó mediante la siguiente formula:

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{Vi}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{Ci}{(1+i)^j}}$$

Donde:

C/B: Relación Costo-Beneficio

Vi: Valor de la producción (beneficio bruto)

Ci: Egresos (i = 0, 1, 2, 3, 4...n) i:

Tasa social de descuento (8%)

3.5. Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), dentro de un modelo fijo, con 2 tratamientos y 12 repeticiones por tratamiento. Este diseño experimental se utilizó para todas las variables evaluadas. El diseño completamente al azar tiene el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}.$$

Donde:

Y_{ij} : Observación en el bloque j-ésimo de un diseño completo al azar, bajo el tratamiento i-esimo.

μ : Media general de las observaciones.

T_i : Efecto del i-esimo tratamiento.

e_{ij} : Error aleatorio.

Los datos obtenidos de todas las variables fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA). La comparación entre medias fue realizada mediante la prueba de tukey con una probabilidad de 0.05 **Calzada, (1982)**. El procesamiento de los datos se realizó con el programa SAS 9.4 SAS Institute Inc., (2012).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comparación de características morfológicas del sistema acuapónico de trucha y la hidroponía en la producción de forraje verde de cebada.

4.2. Altura de planta

En el Cuadro 4, Anexo 8 y el Gráfico 2 se observan los resultados obtenidos para el efecto del sistema de producción de forraje verde de cebada en la altura de planta. Los promedios de altura de planta de los sistemas de producción no fueron diferentes ($P>0.05$). No obstante, se obtuvo una ligera superioridad del sistema acuapónico con una altura de 19.60 cm y el sistema hidropónico con una altura de 18.30 cm. se encontraron ínfimas superioridades del sistema acuapónico, tal como se observa en el presente estudio.

CUADRO N°4. COMPARACION DE CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL SISTEMA ACUAPONICO E HIDROPONICO EN ALTURA DE PLANTA														
MUESTRAS ACUAPONICO		BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Altura de la plata, cm	I	14.50	17.10	23.10	27.40	20.90	27.40	20.90	15.30	14.80	14.50	17.10	23.00	18.85
	II	23.10	16.50	21.30	21.20	21.10	21.20	14.50	17.10	23.10	23.10	16.50	21.30	
	III	16.30	13.30	20.10	17.40	21.20	17.40	23.10	16.50	21.30	16.30	19.50	20.10	
	IV	21.60	11.30	20.50	18.60	21.10	18.60	16.30	13.30	20.10	21.60	12.30	20.50	
	V	15.30	14.80	22.80	19.60	24.20	19.60	21.60	11.30	20.50	15.30	14.80	17.00	
MUESTRAS HIDROPONICO		BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Altura de la plata, cm	I	19.90	25.30	14.00	22.20	18.30	16.00	14.40	14.80	18.50	23.00	19.50	14.80	18.21
	II	12.60	23.00	23.10	19.40	19.50	18.00	18.50	23.00	16.80	19.50	14.80	23.00	
	III	19.20	19.20	22.70	14.40	14.80	17.30	16.80	12.70	18.30	14.80	23.00	18.30	
	IV	15.20	16.70	16.00	18.50	23.00	22.20	18.30	19.40	19.50	23.00	19.50	17.20	
	V	18.00	14.80	20.50	16.80	12.70	19.40	19.50	14.40	14.80	14.60	19.50	15.50	

Fuente: **Elaboración propia**

PRUEBA APLICADA PARA LA ALTURA DE PLANTA FUE ANÁLISIS DE VARIANZA

Análisis de varianza

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft		Nivel de Significación.	
					5%	1%		
Tratamiento	1	12.50	12.50	1.05	3.92	6.85	NS	NS
Error	118	1400.70	11.90					
Total	119	1413.20						

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

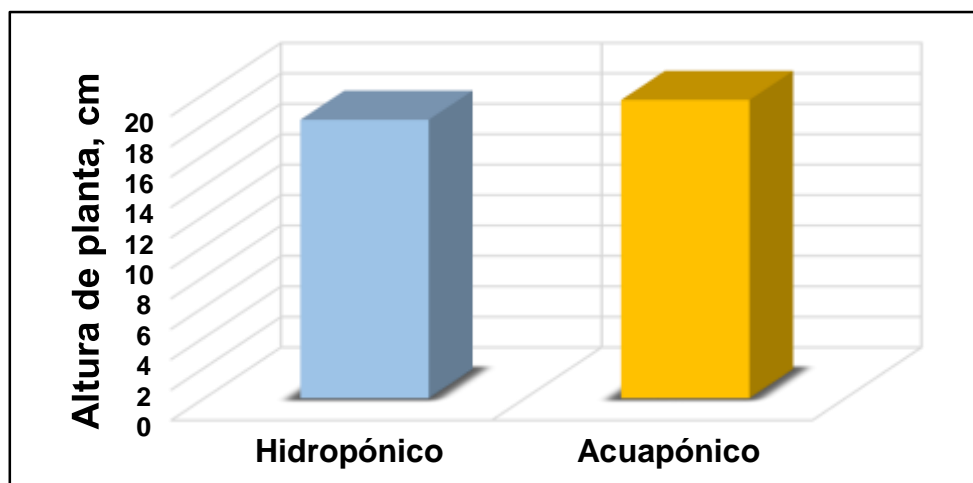
Los resultados en altura de planta fueron superiores en el sistema acuapónico 19.60 cm y en el sistema hidropónico fue 18.30 cm. Este resultado es congruente con lo hallado por Putzu (2012), quien registraba una ligera superioridad de la altura de planta del sistema hidropónico en relación al sistema acuapónico.

Esta mayor altura de planta se debería a que el sistema hidropónico que contiene soluciones nutritivas (como es el caso en este estudio) cuenta con todos los nutrientes balanceados para el normal crecimiento de la planta. Mientras que en un sistema acuapónico puede presentarse un déficit de nutrientes para el crecimiento de las plantas, debido a que los requerimientos de nutrientes no son los mismos para peces como para plantas, es así que la deposición de los peces no aportaría la concentración suficiente de nutrientes como: potasio, hierro, calcio y fosforo para el crecimiento de la planta. Pese a esto, el crecimiento de la planta no se vio afectada por el uso de cualquiera de estos sistemas de producción.

A razón de estos resultados se puede señalar que el crecimiento de la planta no se ve afectado por el sistema de producción de forraje verde, por lo cual implementar un

sistema acuapónico resultaría en una apuesta positiva para producción de forraje verde, sin arriesgar la producción del cultivo y además de contar con las ventajas del sistema acuapónico mencionadas anteriormente.

Gráfico N° 1. Comparación de altura de planta del forraje verde de cebada en hidroponía y acuaponía.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Largo de raíz

Los resultados de efecto del sistema de producción en el largo de raíz del forraje verde de cebada se muestran el Cuadro 5, Anexo 9 y Grafico 3. El largo de raíz del forraje verde de cebada no se vio afectada estadísticamente ($P > 0.05$) por los sistemas de producción de cultivo. Adicionalmente se evidencia que el sistema hidropónico (11.75^a) tiene una ligera superioridad en el largo de raíz que el sistema acuapónico (11.35^a). No se encontraron estudios anteriores en los que se compare el largo de raíz entre sistemas acuapónico e hidropónico, debido a que el tema se encuentra en desarrollo en la actualidad. Sin embargo, la estrecha superioridad que presenta el sistema hidropónico (3.5%) en relación al sistema acuapónico se debería a la concentración de Manganeso (0.50 ppm) por Kg, que tienen las soluciones nutritivas

(utilizadas en el sistema hidropónico); esta concentración favorece la mayor longitud de las células maduras de la epidermis, o sea que el alargamiento de la raíz es mayor en presencia del Manganeseo. Además, el manganeso tiene un efecto en la asimilación de nitratos por las raíces, debido a que el manganeso promueve y probablemente cataliza la reducción de nitratos en las raíces y produce marcados cambios en la morfología de las raíces **Burström**, (1950). Por su parte, se desconoce si el sistema acuapónico aporte la cantidad suficiente de Manganeseo para fomentar el desarrollo radicular.

Otra razón por la que el largo de raíz no desarrolle más que en el sistema hidropónico sería que el efluente del sistema acuapónico no filtrado apropiadamente permite el paso de materia orgánica que se fija en las raíces de las plantas impidiendo la difusión de oxígeno, causando el desprendimiento de las mismas.

CUADRO N° 5. COMPARACION DE CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL SISTEMA ACUAPONICO E HIDROPONICO EN LONGITUD DE RAIZ														
MUESTRAS ACUAPONICO		BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Longitud de raiz, cm	I	11.30	17.40	8.50	9.50	10.20	11.00	17.40	8.50	9.50	9.00	11.00	9.20	12.15
	II	22.50	14.00	8.80	17.80	13.50	8.90	14.00	9.80	17.80	13.50	8.90	11.00	
	III	13.10	16.30	9.60	16.60	14.40	13.10	15.50	9.60	14.00	14.40	9.30	8.90	
	IV	11.40	7.60	7.80	16.20	9.10	11.40	7.60	7.80	16.20	9.10	14.40	14.40	
	V	12.60	18.20	13.50	11.00	9.20	12.00	16.00	13.00	11.00	9.20	10.20	12.00	
MUESTRAS HIDROPONICO		BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Longitud de raiz, cm	I	8.80	9.70	9.10	19.70	13.10	10.60	7.90	12.60	7.90	11.60	11.60	9.10	11.28
	II	13.30	8.70	8.80	12.20	15.50	3.00	13.10	15.50	19.20	13.50	13.50	8.80	
	III	12.30	11.60	12.50	9.60	13.60	6.00	15.50	14.20	11.90	14.10	6.30	12.50	
	IV	19.20	13.50	7.60	8.90	13.30	9.40	13.60	6.00	9.70	13.10	11.00	7.60	
	V	11.90	14.10	15.90	15.90	12.60	5.00	13.30	6.80	8.70	8.00	5.70	8.80	

Fuente: Elaboración propia

PRUEBA APLICADA PARA EL LARGO DE LA RAIZ FUE ANÁLISIS DE VARIANZA.

Análisis de varianza

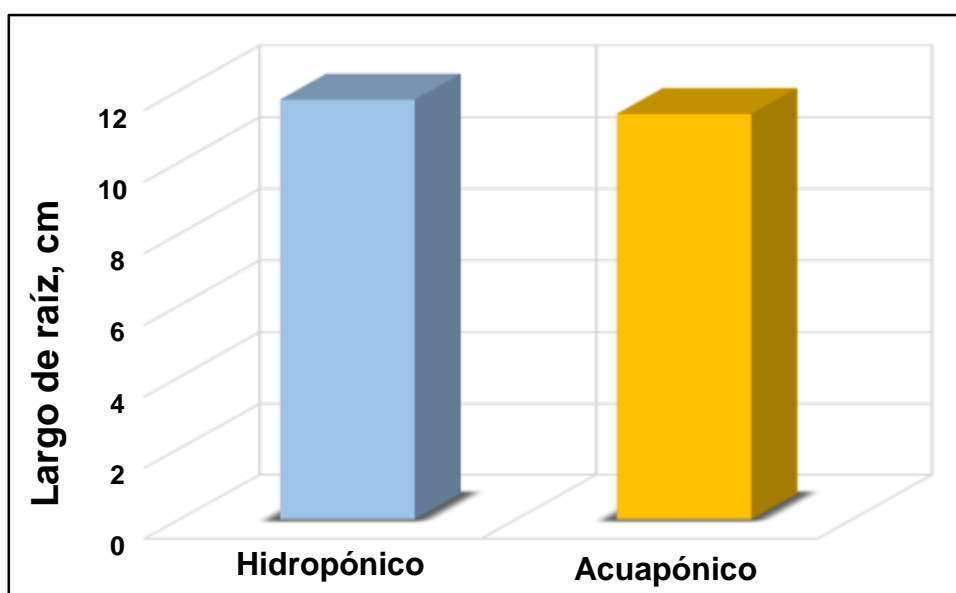
Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft		Nivel de Significación.	
					5%	1%		
Tratamiento	1	22.7	22.7	1.92	3.92	6.85	NS	NS
Error	118	1397.0	11.8					
Total	119	1419.7						

GL: Grados de libertad, Sig.: Significancia, Fc.: Calculada Fuente: Elaboración propia.

NS: No Significativo, * Significativo **Altamente significativo

Pese a lo mencionado anteriormente, el sistema acuapónico no comprometió el crecimiento de la raíz del forraje verde de cebada y es estadísticamente igual al tamaño obtenido por el sistema hidropónico, indicando que cualquier sistema puede utilizarse para la producción de forraje verde ya que no afecta el desarrollo radicular en la planta.

Gráfico N° 2. Comparación de largo de raíz del forraje verde de cebada en hidroponía y acuaponía.



Fuente: Elaboración propia

4.4. Ancho de hoja

El análisis de los resultados (Cuadro 6, Anexo 10 y Gráfico 4) de los promedios del ancho de hoja de forraje verde de cebada indican que no existe diferencias significativas ($P=0.8112$) entre sistemas de producción de cultivo. No obstante, se observa una ligera superioridad del sistema acuapónico que tiene un ancho de hoja de 5.17 mm, mientras que el sistema hidropónico obtuvo 5.08 mm de ancho de hoja. No se encontraron estudios anteriores que midan el ancho de hoja de forma independiente en comparaciones de sistema.

Estos resultados son encontrados en el presente estudio, puesto que en ambas investigaciones el sistema acuapónico denota no tener diferencias con el sistema hidropónico para el crecimiento de hoja, e inclusive en ambos estudios se muestra que el crecimiento de la hoja tuvo una ligera superioridad con el sistema acuapónico.

Como se observó, el sistema acuapónico favorece el crecimiento de la hoja del forraje verde de cebada, que en este estudio fue ligeramente superior al sistema hidropónico. Entonces se puede establecer que la utilización del sistema acuapónico presenta una ventaja a la hora de producir forraje verde, porque mantiene una adecuada producción foliar.

CUADRO N°6 .COMPARACION DE CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL SISTEMA ACUAPONICO E HIDROPONICO EN ANCHO DE HOJA														
MUESTRAS ACUAPONICO		BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Ancho de hoja, mm	I	5.56	4.67	5.88	6.19	5.31	4.67	5.17	5.17	5.32	5.88	3.06	4.40	4.98
	II	1.57	5.42	5.09	5.32	5.16	4.67	4.67	5.88	6.19	5.09	5.17	3.45	
	III	4.77	4.78	5.53	4.68	3.31	5.42	5.42	5.09	5.32	5.53	5.88	5.65	
	IV	5.01	5.73	2.46	8.86	6.05	4.78	4.78	5.53	4.68	3.31	5.09	5.01	
	V	5.17	5.17	5.32	4.16	3.06	5.73	5.73	2.46	5.17	6.05	5.53	3.45	
MUESTRAS HIDROPONICO			BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Ancho de hoja, mm	I	4.46	5.36	7.11	5.80	4.95	5.02	5.21	5.34	4.56	5.36	7.11	5.34	5.07
	II	5.02	5.21	5.34	6.60	4.77	4.80	4.32	5.13	5.02	5.21	5.34	5.13	
	III	4.80	4.32	5.13	5.69	4.80	4.96	2.91	5.59	4.80	4.32	5.13	5.59	
	IV	4.96	2.91	5.59	5.23	6.05	5.00	4.27	4.89	4.96	2.91	5.59	3.21	
	V	4.00	4.27	4.50	5.84	6.42	5.36	7.11	3.67	4.00	4.27	7.11	6.23	

Fuente: Elaboración propia

PRUEBA APLICADA PARA EL ANCHO DE LA HOJA FUE ANÁLISIS DE VARIANZA.

Análisis de varianza

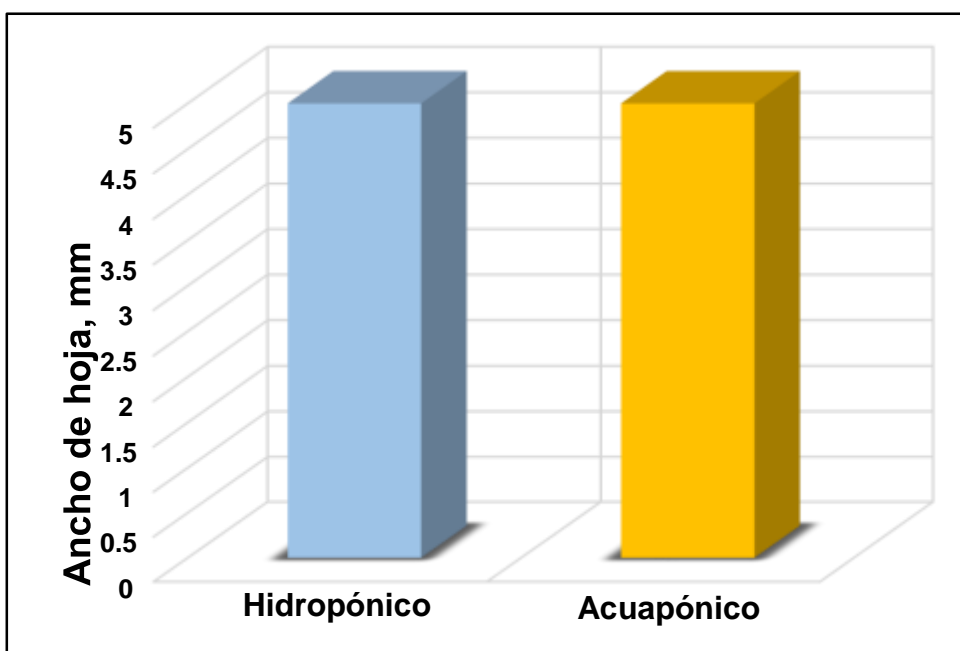
Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft		Nivel de Significación.	
					5%	1%		
Tratamiento	1	0.23	0.23	0.22	3.92	6.85	NS	NS
Error	118	125.4	1.06					
Total	119	125.7						

GL: Grados de libertad, Sig.: Significancia, Fc.: Calculada Fuente: Elaboración propia.

NS: No Significativo, * Significativo **Altamente significativo

Pese a lo mencionado anteriormente, el sistema acuapónico no comprometió el crecimiento de la raíz del forraje verde de cebada y es estadísticamente igual al tamaño obtenido por el sistema hidropónico, indicando que cualquier sistema puede utilizarse para la producción de forraje verde ya que no afecta el desarrollo radicular en la planta.

Gráfico N° 3. Ancho de hoja del forraje verde de cebada.



Fuente: Elaboración propia

4.5. Diámetro de tallo

El resultado del efecto del sistema de cultivo en el diámetro de tallo se observa en el Cuadro 6 y Gráfico 5. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$) para el diámetro de tallo del forraje verde de cebada, en el sistema acuapónico presento un diámetro de tallo de 1.38 mm, mientras que el sistema hidropónico tenía 1.16 mm. El mayor diámetro de tallo de forraje verde se debe a que en el sistema acuapónico los nutrientes que se necesitan para el crecimiento de las plantas son totalmente suministrados por los desechos de peces; por ejemplo, los peces principalmente excretan nitrógeno en forma de amoníaco (NH_4) a través de sus agallas, mientras que sus heces contienen nitrógeno orgánico, fósforo y carbono Además, a diferencia de sistema acuapónico, donde la mayoría de los nutrientes son de origen orgánico, mientras en sistema hidropónico se proporcionó solución nutritiva de A y B.

CUADRO N°7. COMPARACION DE CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DEL SISTEMA ACUAPONICO E HIDROPONICO EN DIAMETRO DE HOJA														
MUESTRAS ACUAPONICO		BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PRO MEDIO
Diámetro de tallo, mm	I	1.30	1.37	1.54	1.84	1.21	1.37	1.14	1.57	1.52	1.29	1.05	1.17	1.38
	II	1.70	1.14	1.47	1.17	1.68	1.23	1.32	1.41	0.73	1.54	1.60	1.27	
	III	1.43	1.24	1.30	1.27	1.71	1.43	1.30	1.37	1.54	1.84	1.29	1.32	
	IV	1.57	1.52	1.29	1.41	1.35	1.18	1.70	1.14	1.47	1.17	1.54	1.24	
	V	1.41	0.73	1.54	1.69	1.53	1.07	1.43	1.24	1.30	1.27	1.84	1.78	
MUESTRAS HIDROPONICO		BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PRO MEDIO
Diámetro de tallo, mm	I	1.13	0.91	1.55	0.88	1.31	1.06	1.45	1.32	1.23	0.68	1.34	1.35	1.16
	II	0.87	0.78	1.54	1.45	1.02	0.98	1.08	1.38	1.31	1.28	1.55	0.89	
	III	1.03	0.56	1.18	0.97	0.97	1.23	1.03	0.98	1.32	1.36	1.54	0.87	
	IV	1.10	1.57	1.11	0.95	1.52	1.34	1.02	1.06	1.45	0.56	1.18	1.33	
	V	1.08	1.25	1.35	1.02	1.05	1.32	1.22	0.98	0.75	1.57	1.11	1.09	

Fuente: Elaboración propia

PRUEBAS APLICADAS PARA EL DIAMETRO DE TALLO FUERON ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY.

Análisis de varianza

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft		Nivel de Significación.	
					5%	1%		
Tratamiento	1	1.5687	1.5687	26.58	3.92	6.85	*	*
Error	118	6.9631	0.0590					
Total	119	8.5318						

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

Prueba de Tukey

Prueba de Tukey	Media	N	Sistema
A	1.38	60	2
B	1.16	60	1

^{A-B} Letras distintas significan diferencias significativas.

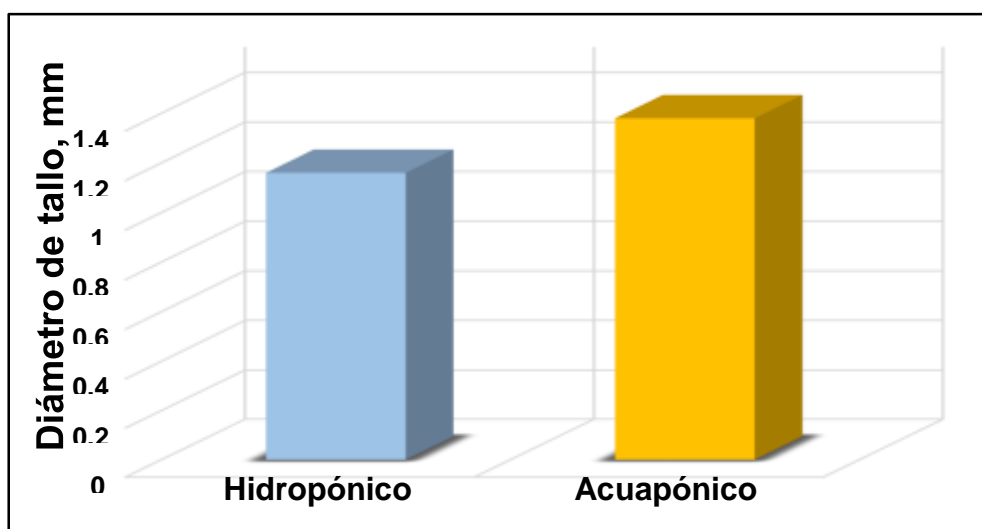
¹ Sistema Hidropónico, ² Sistema Acuapónico.

La superioridad que presenta la acuaponía se debe a que en sistemas de recirculación las plantas crecen rápidamente en respuesta a los altos niveles de nutrientes que son excretados directamente por los peces o generados por la descomposición bacteriana del excremento. Asimismo, el mayor desarrollo de los componentes de la planta en acuaponía se explica porque la acumulación de nutrientes disueltos se aproxima a los niveles encontrados en soluciones de nutrientes hidropónicas; el nitrógeno, en particular, puede encontrar un nivel muy alto en los sistemas de recirculación.

Como se observa en el presente estudio, el sistema acuapónico señala que los resultados para el rendimiento, altura de planta, largo de raíz y ancho de hoja del forraje verde de cebada son estadísticamente iguales al sistema hidropónico; además, el diámetro de tallo se ve beneficiado por la utilización del sistema acuapónico, indicando que la acuaponía favorece el normal desarrollo del forraje verde de cebada.

Entonces teniendo en cuenta que el sistema acuapónico no solo representa respuestas favorables para la producción de forraje verde de cebada, sino que también posee ventajas en comparación con los ecosistemas agrícolas convencionales: en el uso más eficiente del agua, mayor contribución de la bioseguridad al manejar los desechos de los peces, menos necesidad de monitorear la calidad del agua y fácil administración del sistema. Razones que hacen del sistema acuapónico una buena alternativa en la producción de forraje verde para productores que no cuenten con suficiente espacio.

Gráfico N° 4. Comparación de diámetro de tallo del forraje verde de cebada en hidroponía y acuaponia.



Fuente: Elaboración propia

4.6. Rendimiento

El resultado del rendimiento se puede apreciar en el cuadro 10, Anexo 7 y el Gráfico 1. Los resultados indican que no hay muchas diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$) para el rendimiento de forraje verde de cebada. Así mismo, se observa que hay una ligera superioridad por parte del sistema acuapónico con un rendimiento de 21.50 kg/m^2 , el cual es superior en relación al sistema hidropónico que tiene un rendimiento 20.89 kg/m^2 . Este resultado concuerda con lo reportado por **Putzu**

(2012), que haciendo una comparación del rendimiento en la producción de forraje verde de cebada en diferentes sistemas de cultivo indicó que la productividad del forraje verde de cebada era mayor en el sistema acuapónico (48.1 ± 3.69 kg ms/m²/año) que en el sistema hidropónico (43.9 ± 1.96 kg ms/m²/año), pero dichos resultados no eran significativamente diferentes ($P=0.3759$). Además, los mismos investigadores no encontraron diferencias significativas ($P=0.0694$) entre sistemas de cultivo para la productividad del forraje verde de maíz. El sistema acuapónico tuvo una mayor productividad del forraje verde de maíz con respecto al sistema acuapónico (59.60 ± 0.59 kg MS/m²/año y 57 ± 0.91 kg MS/m²/año, respectivamente).

CUADRO N°8. RENDIMIENTO EN EL SISTEMA ACUAPONICO E HIDROPONICO													
MUESTRAS ACUAPONICO	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Rendimiento kg	4.665	5.129	4.952	4.949	4.876	5.184	4.431	4.445	4.567	4.664	4.817	4.088	4.73
MUESTRAS HIDROPONICO	BANDEJA 1	BANDEJA 2	BANDEJA 3	BANDEJA 4	BANDEJA 5	BANDEJA 6	BANDEJA 7	BANDEJA 8	BANDEJA 9	BANDEJA 10	BANDEJA 11	BANDEJA 12	PROMEDIO
Rendimiento kg	3.719	4.797	4.786	4.592	4.885	4.340	4.662	4.526	4.737	4.784	4.698	4.610	4.59

Fuente: Elaboración propia

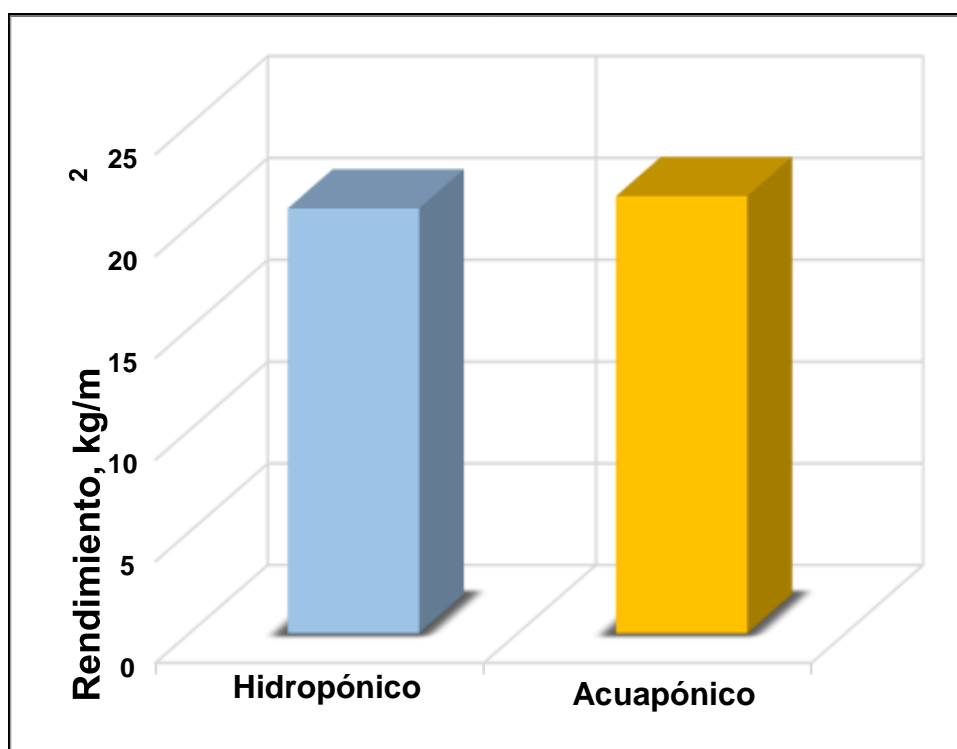
PRUEBAS APLICADAS PARA EL RENDIMIENTO FUERON ANÁLISIS DE VARIANZA.

Análisis de varianza

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Fc	Ft		Nivel de Significación.	
					5%	1%		
Tratamiento	1	2.28907267	2.28907267	1.12	4.30	7.95	NS	NS
Error	22	45.02256117	2.04648005					
Total	23	47.31163383						

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

Gráfico N° 5. Rendimiento del forraje verde de cebada en hidroponía y acuaponía.



Fuente: Elaboración propia

4.7. Análisis costo-beneficio

Los resultados encontrados para la relación costo- beneficio del sistema acuapónico e hidropónico se observan en el cuadro 11. La relación costo-beneficio a una tasa social de descuento actualizada de 8% el sistema acuapónico es de 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 en el sistema hidropónico es de 0.19 soles. El cual quiere decir que por utilizar el sistema acuapónico será mayor en poco más del 30% en relación al sistema hidropónico.

El beneficio que se percibirá por utilizar el sistema acuapónico es mayor en relación al sistema hidropónico.

Cuadro N° 9. Relación costo-beneficio del forraje acuapónico e hidropónico.

N°	Sistema Acuapónico				Sistema Hidropónico			
	Inversión (S/.)	Ingreso (S/.)	Costo (S/.)	FNE (S/.)	Inversión (S/.)	Ingreso (S/.)	Costo (S/.)	FNE (S/.)
0	2,234.30			-2,234.30	1,231.00			-1,231.00
P1		1,243.50	307.29	936.21		352.80	29.22	323.58
P2		1,243.50	306.75	936.75		352.80	28.74	324.06
P3		1,243.50	307.29	936.21		352.80	29.22	323.58
P4		1,243.50	306.75	936.75		352.80	28.74	324.06
P5		1,243.50	307.29	936.21		352.80	29.22	323.58
P6		1,243.50	306.75	936.75		352.80	28.74	324.06
TSD	8%							
ΣI	5,748.55				1,630.95			
ΣC	1,419.36				134.01			
ΣC+Inv	3,653.66				1,365.01			
B/C	1.573				1.194			

P: Periodo, FNE: Flujo Neto Efectivo, TSD: Tasa Social de Descuento, ΣI: Sumatoria de ingresos, ΣC: Sumatoria de costos, Inv:

Inversión, B/C: Relación Beneficio-costos. Fuente: Elaboración propia

La relación costo-beneficio proyectada en el sistema acuapónico señala que implementar este sistema resultaría favorable en términos económicos para los productores, porque refleja una retribución extra a solo una producción de forraje verde hidropónico. Además, aunando a esto los factores productivos favorables encontrados anteriormente es que se indica que el sistema acuapónico es mejor opción que el sistema hidropónico para la producción de forraje verde de cebada.

Es así que el sistema acuapónico representa una buena alternativa para los interesados que buscan nuevas estrategias productivas que sean de fácil ejecución, que se adapten al cambio climático, que sean eficientes desde el punto de vista económico y productivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó el presente estudio y sobre los resultados obtenidos se concluye:

- 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.
- 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
- 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.
- El cual quiere decir que por utilizar el sistema acuapónico será mayor en poco más del 30% en relación al sistema hidropónico.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos, se dice:

- Utilizar el sistema acuapónico para la producción de forraje verde de cebada.
- Implementar el sistema acuapónico con diferentes especies forrajeras y con distintas especies piscícolas a la presentada en este estudio.
- Realizar más investigaciones sobre el efecto del sistema acuapónico en diferentes especies vegetales para consumo humano.
- Se recomienda realizar el análisis bromatológico del forraje verde de cebada.
- Realizar medidas de pH y temperatura en sistema acuapónico y las soluciones nutritivas.

BIBLIOGRAFÍA

- Baldoceda Vásquez, A. N. (2015). Efecto de la modificación morfológica de las espigas en el rendimiento y componentes de rendimiento de líneas mutantes de cebada (*Hordeum vulgare* L.) obtenidas con irradiación gamma. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Blank, G. S., Chesser, B., Morton, C., Cinelli, M. and McIntosh D. (2016). Culture of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in a small scale, deepwater, airlift driven aquaponics system. Department of Agriculture and Natural Resources. Dover, Delaware
- Calzada J.(1982). Métodos estadísticos para la investigación.Lima:Ed Jurídica. 644p.
- Camacho B., E., M. Moreno R., M. Rodríguez G., C. Luna Romo y M. Vásquez. (2000). Guía para el cultivo de trucha. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. 135 p.
- Candarles, P. (2016). Técnicas de Acuaponía, Centro Nacional de Desarrollo Acuícola CENADAC), Dirección de acuicultura. Ministerio de Agroindustria Presidencia de la nación. Argentina, 47 p.
- CEDEP. (2009). Manual de crianza de la trucha. Ragash - Perú.
- Colagrosso, A. (2014). Instalación y manejo de sistemas de cultivo Acuapónicos a pequeña escala. Tesis de Investigación. Costa Rica:Prima edizione digitale. 65 p.
- Diver, S. (1996). Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. En: ATTRA (Sustainable Agriculture Information Service) and National Center for Appropriate Technology. No.163.: p1-20.

- Diver, S. (2006). Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service. (ATTRA) North Carolina North Carolina: 1-28 pp.
- DNTDT. (2006). Estudio de diagnóstico zonificación de la provincial de Abancay – Apurímac. Gobierno Regional de Apurímac.
- FONDEPES. (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. <http://www.fondepes.gob.pe/>.
- Gonzalez, A. (2001). Estudio de caracteres fenológicos, agronómicos, morfológicos y fisiológicos en relación con la tolerancia al estrés hídrico en cebada. Tesis Doctoral. Facultad de CC. Biológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- Guangzhi, G. (2001). Mass Blance and wáter Quiality in Aquaculture tanks. The United Nation University. Iceland.
- Iturbide K. (2008). Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. Tesis M. Sc. Ciudad de Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala.
Pag: 74.
- López. L. (1991). Cultivos herbáceos. Cereales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 539 pp.
- Maiz, P., Valero, L., y Briceño D. (2010). Elementos prácticos para la cría de truchas en Venezuela. Mundo Pecuario, VI, N° 2, 157-168.
- Mateo, B. J. (2005). Prontuario de agricultura. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Ediciones Mundi-prensa. España.

- McMurtry, M. R., Sanders, D. C., Cure, J. D., Hodson, R. G., Haning, B. C. and Amand, P. C. (1997). Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. En: Journal of the World Aquaculture Society. Vol. 28; p420–428.
- MERA ZAMBRANO, A. (2018). Evaluación hidropónica de dos variedades de Zea mays (Maíz) valorando. ECUADOR: UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ.
- Moreno, E. W. y Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Universidad Nacional de Trujillo. Departamento de Pesquería. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas. 34(2): 60-72.
- Muñoz, M. (2007). Control genético y variación transcripcional de la embriogénesis de la microspora en cebada. Tesis Doctoral. Departamento de Genética y Producción Vegetal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Zaragoza
- OASIS - EASY PLANT. (2014). Manual de Hidroponia. Obtenido de Smithers Oasis de México:
- Orellana, E. (2015). Evaluación de tres niveles de fertilización en forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*). Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca. Ingeniería Agropecuaria Industrial.
- Pérez, J. (2010). Blogspot. Obtenido de La cebada.
- Pillay, T.V.R. and Kutty, M.N. (2005). Aquaculture: Principles and Practices, Second Edition. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, England. 624 pp.
- PRODUCE .(2007). La actividad de acuicultura en el Perú. Ministerio de la Producción. Dirección General de Acuicultura. 7pp.

- Putzu, A. P. (2012). Comparación del rendimiento en la producción de forraje verde en diferentes sistemas de cultivo. Universidad Autónoma de Querétaro.
Facultad de Ingeniería. Especialidad en Ingeniería de Invernaderos.
- Rakocy, J. E., Hargreaves J. A. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. En: Techniques of modern aquaculture. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Missouri, USA. Vol 1: p112–136.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P. and Hurtado, H. (2008). La acuaponía: una alternativa al desarrollo sostenible. Revista de biología. Universidad Militar de Nueva Granada. 4(1):32-51.
- Rimache, M. (2008). Cultivo de trigo y avena. Primera edición. Macro E.I.R.L. Perú, p. 70.
- Rosado, R. y Erazo, A.(2001). Aspectos básicos para el cultivo de la Trucha arcoíris. Fundamentos de Acuicultura continental. Segunda edición. Instituto Nacional de pesca y acuicultura (INPA). Bogotá, Colombia. 301- 302 pp.
- Saga, A. y Román, C. (1995). Piscicultura: sus bases, métodos y aplicaciones. Editorial Aebug. Armenia, Colombia. 86p.
- Samperio, G. 1997. Hidroponía básica. Editorial Diana, México DF, México.
- Sánchez del C, F. y R. E. Escalante. (1988 y 2000). Un Sistema de Producción de Plantas. Hidroponía: Principios y Métodos de Cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. México Ed. Tercera Edición. Pp. 17-18.
- Sánchez del C, F., Moreno, E., Contreras, E. y Morales, J. 2013. Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos.

Universidad Autónoma Chapingo. Depart. Fitotecnia. Revista Chapingo Serie Horticultura 19 (4): 35-43, Edición Especial.

SAS Institute Inc. (2012). SAS® 9.4 Output Delivery System: User's Guide, Fifth Edition.

REFERENCIAS DE WEB

<http://www.oasiseasyplant.mx/wpcontent/uploads/2014/12/MANUAL-SH-2015.pdf>
(Consultado: 08/06/2018).

<http://lacebada10.blogspot.com/2010/06/requerimientosedafoclimaticos.html>.
(Consultado: 08/06/2018).

<https://www.youtube.com/watch?v=kvZcvZ8xSoU>. (Consultado: 08/06/2018).

<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>. (Consultado: 08/06/2018)