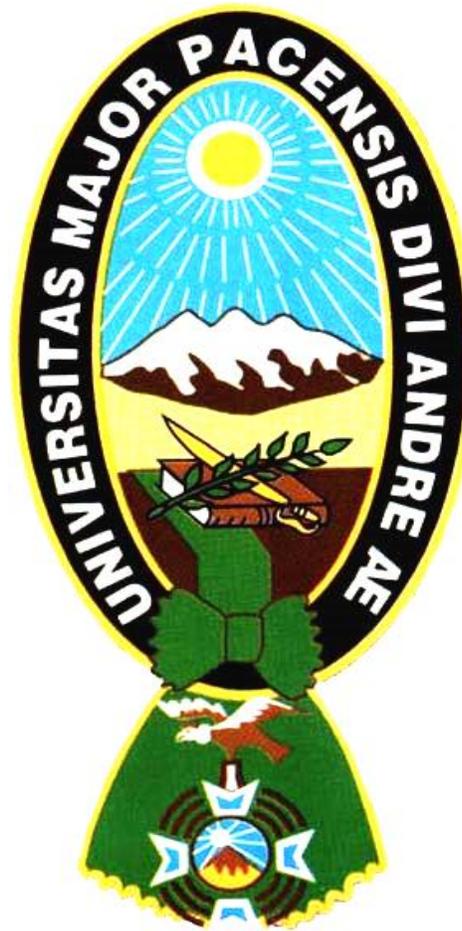


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) BAJO TRES
DENSIDADES DE SIEMBRA EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL DE COTA COTA – LA PAZ**

Presentado por:

Verónica Colque Maquera

La Paz - Bolivia

2018

EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) BAJO TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA – LA PAZ

Tesis de Grado presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agrónomo

VERONICA COLQUE MAQUERA

ASESOR(ES)

Ph. D. Jose Yakov Arteaga García.....

Ing. Estanislao Poma Loza.....

Ing. Luis Fernando Bela Linares.....

TRIBUNAL EXAMINADOR:

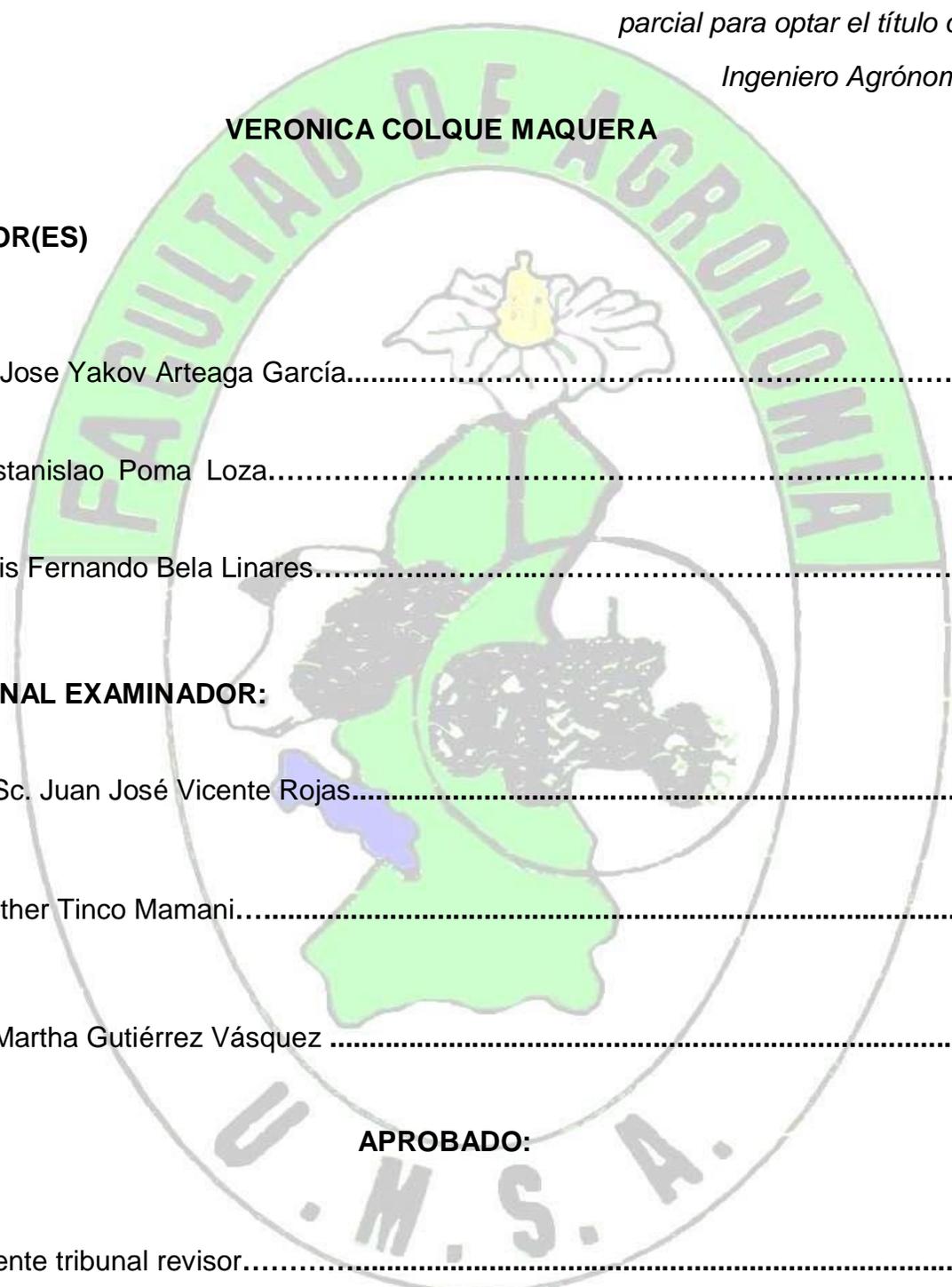
Ing. MSc. Juan José Vicente Rojas.....

Ing. Esther Tinco Mamani.....

Ph.D. Martha Gutiérrez Vásquez

APROBADO:

Presidente tribunal revisor.....



DEDICATORIA

A Dios por darme la vida por ser mi guía y brindarme sabiduría, fortaleza, paciencia y haberme ayudado a alcanzar esta meta

A mis queridos padres Humberto y Antonia, por haberme brindado su amor incondicional, comprensión para lograr cumplir un objetivo más en esta vida, se los debo sin duda alguna. Porque siempre creyeron en mí. Gracias por todos esos consejos sabios.

A mis hermanos Carlos, Luis, Omar, Marilyn, Jhovana por el apoyo y inmenso cariño y comprensión que me brindaron para la culminación de este trabajo.

A mi sobrino Sebastián que llegó a mi vida dándome alegría y felicidad.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente doy gracias a mi Dios mediante Jesucristo, por su amor incomparable y por todas las oportunidades que me dio y me da.

Mi eterno y más sincero agradecimiento a mis padres Humberto, Antonia por haberme dado la vida su amor incondicional por haberme ayudado con sus oraciones en cada etapa de mi vida por sus noches de desvelo y paciencia

A mis hermanos: Carlos, Luis, Marilyn, Omar, Jhovana, Gabriela Jorge y a mi cuñado Freddy por el inmenso apoyo moral y material.

A mis queridos tíos: Simona, Gumersindo por haberme apoyado y guiarme en sus sabios consejos

A mis asesores: Un profundo agradecimiento al Ing. Estanislao Poma, Ph Jose Yakov Arteaga, Ing, Luis Fernando Bela por su colaboración y apoyo incondicional en mi formación. Porque todos me transmitieron sus conocimientos, sus valiosas sugerencias, por el tiempo dedicado para mejorar el presente trabajo de investigación.

A mi tribunal revisor: Ing. Juan Jose Vicente, ph D. Martha Gutierrez, Ing, Esther Tinco por sus valiosos aportes para el enriquecimiento de mi trabajo y por el tiempo dedicado a la revisión del mismo.

Un profundo agradecimiento y con cariño me apoyaron incondicionalmente a culminar mi tesis les doy mi infinita gratitud Rita Linares, Claudia Bela, y a dos personitas especiales Jazmín Coralia Bela y Luis Fernando Bela que siempre los llevo en mi corazón.

Verónica Colque Maquera

CONTENIDO

CONTENIDO	i
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN.....	xi
SUMMARY	xii

INDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Hipótesis	5
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1.1 Origen e importancia de la lechuga	5
2.1.2 Características de la lechuga	6
2.1.3 Taxonomía	7
2.2 Descripción morfológica de la lechuga	7
2.2.1 Requerimiento del cultivo	8
2.2.1.2. Temperatura	8
2.2.1.3. Humedad	9
2.2.2. Plagas y enfermedades	13

2.2.3. Rendimiento	16
2.2.4. Historia de la Acuaponía	16
2.2.5. Principios de la acuaponía	18
2.2.6. Tipos de acuaponía	19
2.2.7. Descripción de la especie utilizada en el cultivo	27
3. LOCALIZACIÓN	40
3.2. Ubicación geográfica	40
3.2.1. Características agroecológicas.....	41
3.2.2. Clima.....	41
3.2.3. Suelos	41
3.2.4. Vegetación y pecuaria	41
4. MATERIALES Y METODOS	42
4.2. Material de campo	42
4.3. Material para la construcción del sistema acuapónico	42
4.4. Material vegetal	43
4.5. Material biológico	43
4.6. Material de laboratorio	43
4.7. Material de gabinete	43
4.8. Metodología	44
4.8.1. Trabajo de campo	44
4.8.2. Manejo de temperatura	57
4.8.3. Diseño Experimental	58
4.8.4. El modelo estadístico:	58
4.8.5. Variables de respuesta	61
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
5.2. Fluctuaciones de temperatura del tanque de los peces	65
5.2.1. Fluctuaciones de temperatura promedio	65

5.3.	Registro de peso de los peces	66
5.4.	Requerimientos nutricionales de la carpa	67
5.5.	Variables de respuesta	67
5.5.1.	Porcentaje de supervivencia.....	67
5.5.2.	Número de días a la cuarta hoja de lechuga	70
5.5.3.	Número de hojas.....	71
5.5.4.	Diámetro de tallo (mm)	73
5.5.5.	Días a la cosecha.....	75
5.5.6.	Volumen radicular	76
5.5.7.	Peso fresco de la planta	79
5.5.8.	Análisis económico.....	81
5.5.9.	Relación Beneficio bruto.....	82
2.2.2	Relación beneficio costo (Bs/Año)	83
6.	Conclusiones	86
7.	Recomendaciones	88
8.	Bibliografía.....	89
9.	Anexos.....	97

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DEL PROCESO DE LOS COMPUESTOS NITROGENADOS EN LA ACUAPONIA	18
FIGURA 2. REPRESENTACIÓN DE UNA UNIDAD DE ACUAPONÍA QUE CONSTA DE UNA CAMA DE CULTIVO CON SUSTRATO	20
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DE LA UNIDAD DE ACUAPONÍA QUE CONSISTE EN EL CULTIVO EN UNA CAPA DE AGUA ENRIQUECIDA CON NUTRIENTES	21
FIGURA 4. ACUAPONÍA QUE CONSISTE EN CULTIVOS DE AGUA PROFUNDA EN FILTRO (LAS TUBERÍAS Y LOS SISTEMAS RECIRCULANTE DE LOS CULTIVOS PERMITEN LA FIJACIÓN DE LAS BACTERIAS)	22
FIGURA 5. CARPA ESPEJO (<i>CYPRINUS CARPIO</i>)	29
FIGURA 6. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA	40
FIGURA 7. SISTEMA ACUAPÓNICO INSTALADO	45
FIGURA 8. ARMADO E INSTALACIÓN DE LOS BIOFILTROS	47
FIGURA 9. CANAL DE CULTIVO SISTEMA NFT	49
FIGURA 10. GERMINACIÓN DE LAS PLÁNTULAS DE LECHUGA EN EL SEMILLERO	52
FIGURA 11. TRASPLANTE DE LAS LECHUGAS A LOS CANALES DE CULTIVO	53
FIGURA 12. TOMA DE DATOS DE LAS PLANTAS MUESTREADAS AL AZAR	56
FIGURA 13. COSECHA DE LA LECHUGA.....	57
FIGURA 14. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACUAPÓNICO	60
FIGURA 15. FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA PROMEDIO DEL TANQUE.....	65
FIGURA 16 PESO DE LOS PECES.....	66
FIGURA 17. PORCENTAJE DE PRENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA POR TRATAMIENTO	69
FIGURA 18. NÚMERO DE HOJAS	72
FIGURA 19. DIÁMETRO DE TALLO DEL CULTIVO DE LECHUGA	75
FIGURA 20. VOLUMEN RADICULAR DEL CULTIVO DE LECHUGA.....	78
FIGURA 21. COMPARACIÓN DE MEDIAS Y DISPERSIÓN DE PROMEDIOS DEL PESO DE PLANTAS	80

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. COMPOSICION NUTRITIVA DE LA LECHUGA POR 100 G. PARTE COMESTIBLE	10
CUADRO 2. CONTENIDO DE MINERALES EN CADA 100 G. DE HOJAS DE LECHUGA	11
CUADRO 3. PARÁMETROS GENERALES DEL AGUA PARA LOS PECES PLANTAS Y BACTERIAS ..	24
CUADRO 4. PARÁMETROS IDEALES PARA LA ACUAPONÍA	24
CUADRO 5. NIVELES DE TEMPERATURA, NITRÓGENO, OXÍGENO DISUELTO Y REQUERIMIENTO DE PROTEÍNA PARA ESPECIES ACUÁTICAS USADAS EN ACUAPONÍA	27
CUADRO 6. PRODUCCIÓN DE TONELADAS DE PESCADO POR AÑO EN BOLIVIA	27
CUADRO 7. ALIMENTACIÓN DE LA CARPA DURANTE LAS DISTINTAS FASES DE SU DESARROLLO	31
CUADRO 8. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA DEL CULTIVO.	67
CUADRO 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DUNCAN DE LAS DENSIDADES DE SIEMBRA CON RESPECTO A LA SUPERVIVENCIA DEL CULTIVO	68
CUADRO 10. . ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL NÚMERO DE DÍAS A LA CUARTA HOJA	70
CUADRO 11. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE NÚMERO DE HOJAS A LA COSECHA..	71
CUADRO 12. ANALISIS DE VARIANZA PARA DIÁMETRO DE TALLO.....	74
CUADRO 13. CICLO DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LECHUGA.....	76
CUADRO 14. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL VOLUMEN RADICULAR	76
CUADRO 15. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DUNCAN DE LAS DENSIDADES PARA EL VOLUMEN RADICULAR DEL CULTIVO DE LECHUGA	77
CUADRO 16. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE PESO FRESCO DE LECHUGA (G/PLANTA)	79
CUADRO 17. COMPARACIÓN DUNCAN ENTRE DENSIDADES PARA EL PESO DE LA PLANTA COMPLETA DEL CULTIVO DE LECHUGA	80
CUADRO 18. RENDIMIENTO AJUSTADO POR TRATAMIENTO	82
CUADRO 19. BENEFICIO BRUTO ANUAL	83
CUADRO 20. RELACIÓN BENEFICIO COSTO Bs/AÑO	84

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. INSTALACIÓN DEL CANAL DE CULTIVO (EXCAVACIÓN PARA EL TANQUE DE 300 L) ..	95
ANEXO 2. NIVELACIÓN DEL SUELO PARA EL SISTEMA DE RETORNO DE AGUA	95
ANEXO 3. CONSTRUCCIÓN DE LOS CANALES DE CULTIVO	95
ANEXO 4. SIEMBRA EN EL SUSTRATO INERTE	96
ANEXO 5. INSTALACIÓN DE LA BOMBA DE AGUA Y CONEXIÓN HACIA EL TANQUE DE LOS PECES	96
ANEXO 6. VERIFICACIÓN DEL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO	96
ANEXO 7. SEMBRADO DE LOS PECES CARPA HACIA LOS TANQUES DE 1200 LT	97
ANEXO 8. PESO DEL ALIMENTO PARA LOS PECES	97
ANEXO 9. TOMA DE PESO INICIAL Y FINAL DE LOS PECES	97
ANEXO 10. TOMA DE DATOS DE TEMPERATURA Y PH	98
ANEXO 11. TRASPLANTE AL SISTEMA NFT	98
ANEXO 12. TOMA DE DATOS DE TEMPERATURA Y NÚMERO DE DÍAS A LA 4TA HOJA.....	98
ANEXO 13. TOMA DE DATOS DE NÚMERO DE HOJAS.....	99
ANEXO 14. COSECHA DEL CULTIVO	99
ANEXO 15. ANÁLISIS DE AGUA	100
ANEXO 16. COSTOS FIJOS INSTALACION DE NFT CON CAPACIDAD DE 243 PLANTAS EN UNA AREA DE 8 M2	101
ANEXO 17. COSTOS FIJOS INSTALACION DE SISTEMA ACUAPONICO PARA 16 PECES CON UNA CAPACIDAD DE 2000 LITROS	102
ANEXO 18. RENDIMIENTO AJUSTADO	103
ANEXO 19. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO	103
ANEXO 20. COSTOS DEL SISTEMA ACUAPÓNICO.....	104

RESUMEN

La mayor parte de la producción mundial de la acuicultura se lleva a cabo en estanques de tierra, estos sistemas pueden ser estáticos o dinámicos. Peces en estos sistemas producen minerales nitrogenados y desechos que requieren una amplia filtración. En hidroponía, fertilizantes inorgánicos se utilizan como fuente de nutrientes para las plantas, lo que requiere la limpieza regular del sistema para reponer la solución de fertilizante o para eliminar la acumulación de sal en exceso.

En un sistema de acuaponía, amoníaco (NH_3), excretados por los peces como producto de desecho del metabolismo de proteínas, es convertido en nitrato (NO_3^-) por bacterias nitrificantes para que puedan ser utilizado por las plantas. Las plantas actúan como un sistema de filtración del agua; absorben los minerales nitrogenados y los desechos; mejorando la calidad del agua para los peces.

Para alcanzar el objetivo planteado se utilizó el diseño de cuadrado latino, que fue 3 tratamientos con 3 repeticiones. Los variables de respuesta fueron: la supervivencia, número de días a la cuarta hoja, numero de hojas, diámetro del tallo, días a la cosecha, volumen de la raíz, rendimiento de peso fresco y las densidades fueron: D1=15 cm, D2=20cm, D3=25cm.

Se obtuvo mejores resultados en cuanto al rendimiento de los valores promedios del peso de plantas (gr/planta) de lechugas estudiados en tratamientos de distancia entre plantas. El valor de peso de plantas vario de 21.40 a 29.33 gr. Las plantas que presentaron mayor peso por planta fueron las estudiadas en una distancia entre plantas de 20 cm (D2) y las plantas evaluadas en distancia entre plantas de 15 y 25 cm, fueron las que menor peso de plantas presentaron.

De acuerdo al análisis económico, los ingresos de la producción en este sistema acuaponico resultaron que las tres densidades de siembra D1, D2, D3, presentaron valores menores a 1, en un tiempo de 3 meses lo que duro la investigación, pero si lo calculamos para 5 cosechas el sistema sería rentable.

SUMMARY

Most of the world production of aquaculture is carried out in earthen ponds; these systems can be static or dynamic. Fish in these systems produce nitrogenous minerals and waste that require extensive filtration. In hydroponics, inorganic fertilizers are used as a source of nutrients for plants, which requires regular cleaning of the system to replenish the fertilizer solution or to eliminate excess salt accumulation.

In a system of aquaponics, ammonia (NH_3), excreted by fish as a waste product of protein metabolism, is converted into nitrate (NO_3^-) by nitrifying bacteria so that plants can use them. The plants act as a water filtration system; they absorb nitrogenous minerals and waste; improving water quality for fish.

To achieve the proposed objective, the Latin square design was used, which was 3 treatments with 3 repetitions. The response variables were: survival, number of days to the fourth leaf, number of leaves, stem diameter, days to harvest, root volume, fresh weight yield and densities were: D1 = 15 cm, D2 = 20cm, D3 = 25cm.

It obtained better results in terms of the yield of the average values of the weight of plants (gr / plant) of lettuces studied in distance treatments between plants. The weight value of plants varied from 21.40 to 29.33 gr. The plants that showed greater weight per plant were those studied in a distance between plants of 20 cm (D2) and the plants evaluated in distance between plants of 15 and 25 cm, were the ones with the lowest weight of plants.

According to the economic analysis, the income from the production in this aquaponic system resulted in the three planting densities D1, D2, D3, having values lower than 1, in a time of 3 months which was the investigation, but if we calculate it for 5 harvests the system would be profitable.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El concepto de utilizar heces y otros desperdicios de peces como fertilizantes para plantas, es tan viejo como las primeras civilizaciones de Asia y Sudamérica, cuyos individuos ya aplicaban métodos basados en estos principios, según los registros históricos existentes.

Hacia fines de los años setenta, comenzaron a aparecer estudios científicos en Norteamérica y Europa, para demostrar que los metabolitos producidos por los peces podían ser retirados del agua para el cultivo de vegetales (Lewis et al., 1978).

Como se observa, con el pasar del tiempo, la población aumenta mientras que la calidad de las tierras de cultivo y la producción de las mismas, decae constantemente, lo que indica que es necesaria una renovación en las estrategias de producción de alimentos, basándose en sistemas amigables con el ambiente y que sean sostenibles, protegiendo los recursos naturales como el suelo y los cuerpos de agua (Pade, 2008 citado en Nelson, 2008).

Los avances tecnológicos en los años siguientes, permitieron considerables mejoras en el campo de la investigación; especialmente referidos a los monitoreos y la identificación de los compuestos de biofiltración de los desechos e identificación de óptimas condiciones para la creación de sistemas cerrados.

Un referente de esta actividad, es el Dr. Rakocy, quién llevó adelante un sistema de producción e investigación en la Universidad de las Vírgenes – EEUU, por más de 30 años; logrando mejoras en el desarrollo de las tasas y cálculos, que maximizaran las producciones de peces y vegetales, manteniendo un balance del sistema.

La aplicación de los sistemas acuapónicos, surge como una de las soluciones de producción de alimentos, ya que está generando dos productos, sin afectar sistemas los cuerpos de agua y sin deteriorar el suelo, además que, por su versatilidad, puede ser instalado en lugares que pueden estar más cercanos al área de los

consumidores, lo cual puede reducir costos de transporte, así como puede reducir la contaminación generada por el mismo (Ramírez et al., 2008).

En el Perú van aplicando el desarrollo de un Modelo o diseño de acuaponía en el que combina el Diseño de Cama Flotante con el NFT, de esta manera se pueda analizar los diferentes tipos de sustratos en el cual las plantas pueden desarrollar, y la cantidad de alimento que se requiere para el crecimiento de los vegetales, según el sistema de hidroponía.

En este sistema se describen los aspectos técnicos para la instalación y el manejo del cultivo acuapónico a pequeña escala. A pesar de las ventajas que representa este sistema, en Bolivia es poco conocida ya que aún no se registraron investigaciones referentes a la acuaponía, es por eso que estamos implementando este diseño como una alternativa para mejorar la producción en el centro experimental de Cota Cota.

Se evaluó el rendimiento de tres densidades de siembra en cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. variedad borde morada al utilizar un sistema de cultivo acuapónico N.F.T de raíz flotante. Se procedió a hacer un análisis físico químico de agua del tanque de los peces. Se escogió esta hortaliza por la importancia económica y nutritiva, es una fuente de minerales importante para la alimentación humana.

Por esta razón se pretendió obtener un cultivo de alto rendimiento y con una mejora de calidad nutritiva en forma orgánica.

Uno de los principales compromisos de la acuacultura actual es el de convertirse en una actividad realmente sustentable, lo que equivale a ser: económicamente rentable, ecológicamente amigable y socialmente responsable. La acuacultura abarca el cultivo y la producción de cualquier tipo de organismo acuático en condiciones controladas; incluyendo peces, crustáceos, moluscos y algas. En lo comercial o industrial se ha desarrollado en un área sumamente tecnificada dentro de la agricultura moderna donde presenta al agricultor un método alternativo para

producir proteína en terrenos que ordinariamente estarían fuera de producción (Meyer, 2004).

Mientras la población mundial continúa creciendo, las tierras fértiles son cada vez más escasas y el agua de buena calidad continúa disminuyendo, y cada vez más gente migra hacia las zonas urbanas. Por las razones expuestas, la agricultura tradicional no logra resolver el problema alimentario, por esa razón es necesario incorporar y usar métodos no tradicionales para producir alimentos y que no dependen directamente de las condiciones físicas y químicas del suelo, en resumen, la acuaponía es un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (generalmente peces) sirven como fuente de alimento para las plantas. Estas a su vez al tomar estos desechos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico (Ramírez *et al.*, 2008).

El objetivo de la acuaponía es crear un ciclo en el que se aprovechan los residuos orgánicos generados por los peces, entre las diferentes densidades del cultivo, por ello resulta más ecológico, por el mismo motivo se dice que es una mezcla entre acuicultura e hidroponía, un método en el que las plantas crecen en una solución acuosa con nutrientes, en vez de hacerlo en tierra.

1.2 Justificación

La investigación planteada, busca generar información que conlleve a mejorar la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) no solo en la zona del experimento sino en los diferentes lugares de producción, el mismo que es necesario para mejorar la productividad del cultivo de hortalizas, en particular de la lechuga.

El incremento de la población agrícola requiere aumentar la superficie de cultivo o intensificarse de manera sostenible y al mismo tiempo asegurar la inocuidad de los alimentos.

Hay una necesidad urgente de innovación en agricultura que ofrezca altos rendimientos con menor uso de agua, fertilizantes, plaguicidas, energía y otros insumos (FAO, 2008).

Por otra parte, en la región del altiplano boliviano, es conocida la escasez estacional de hortalizas debido a la ausencia de lluvias o la presencia de heladas u otros fenómenos naturales, que limitan seriamente la producción de volúmenes considerables de estos vegetales. Esta situación determina la necesidad de buscar alternativas de solución para la producción comercial de hortalizas a bajo costo, alto aprovechamiento del espacio, y sobre todo sin problemas fitosanitarios.

La acuaponía presenta varias ventajas sobre los sistemas convencionales de producción de alimentos: reduce la cantidad de nitrógeno peligroso en las descargas, la cantidad de agua por su neutralización, los costos de operación por acarreo de agua, además produce vegetales con un valor agregado porque pueden ser considerados como “productos orgánicos” y elimina el uso de químicos como plaguicidas y fertilizantes contribuyendo al incremento en la eco eficiencia en el uso del suelo y nutrientes, también a la sanidad e inocuidad alimentaria (Diver, 2000).

Con la ayuda de este método no solo se mejora la cosecha en cantidad, peso o calidad, sino que de una forma importante se ha comprobado también que aumenta la productividad en el trabajo, con la consiguiente reducción de la mano de obra para así obtener el mayor beneficio económico. No obstante, a pesar de los avances biotecnológicos de la acuaponía existen pocos estudios sobre la dinámica de nutrientes en estos sistemas ya que es importante por varias razones como ser los términos de aprovechamiento del agua.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo tres densidades de siembra en un sistema acuaponico en el centro experimental de Cota Cota.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la adaptación del cultivo de lechuga (borde morada) aprovechando los residuos orgánicos de un sistema acuapónico.
- Analizar el comportamiento agronómico del cultivo de lechuga (borde morada) aprovechando los residuos orgánicos de un sistema acuapónico.
- Evaluar el costo beneficio parcial de la producción de lechuga.

1.4 Hipótesis

H₀: No hubo diferencia entre las distancias de siembra del cultivo de lechuga en un sistema acuapónico en el Centro Experimental de Cota Cota.

H_a: Existe diferencia entre las distancias de siembra del cultivo de lechuga sistema acuapónico en el Centro Experimental de Cota Cota.

H₀: No hubo diferencias significativas en el rendimiento de peso fresco en las tres densidades de siembra en el cultivo de lechugas cultivadas en un sistema acuapónico en el Centro Experimental de Cota Cota.

H_a: Existe diferencias significativas en el rendimiento de peso fresco en las tres densidades de siembra en el cultivo de lechugas cultivadas en un sistema acuapónico en el Centro Experimental de Cota Cota.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Origen e importancia de la lechuga

Vigliola (1992), comenta que según Whitakes y otros (1974) la lechuga es originaria de las costas del mediterráneo y su importancia radica en que ocupa el tercer lugar dentro de las hortalizas cultivadas después de la papa y el tomate.

Giaconi y Escaff (1995), atribuyen el origen de la lechuga al Asia Menor, siendo ampliamente conocida y cultivada en todo el mundo, a través de numerosos tipos y

variedades constituyéndose en una de las plantas más importantes entre las hortalizas de hojas que se consumen crudas.

La lechuga es una hortaliza que se conoce desde hace mucho tiempo. Es originaria del continente asiático. Fue traída a América con la conquista española, en la actualidad se encuentra con un gran número de cultivos de diferentes cultivares adaptadas a diferentes climas (Enciclopedia Bolivia Agropecuaria, 2010).

Es ampliamente conocida y se cultiva en casi todas las naciones del mundo y, desde el punto de vista nutricional, tiene cantidades razonables de vitaminas A y C, así como calcio, hierro y fósforo (Hernández, 1990).

2.1.2 Características de la lechuga

2.2.1.1. Origen

Nos podemos remontar en el tiempo a través de dos fuentes de información. Según la primera, la lechuga apareció bajo diversas formas, correspondiéndose cada una de ellas con una roseta de hojas sobre un tallo corto. La mayor parte se parece a una lechuga representada en pinturas de tumbas egipcias que se remontan hasta alrededor de 2500 años antes de Cristo, en la Cuarta dinastía.

Este tipo de lechuga se cultiva aún en nuestros días y parece ser la variedad más antigua utilizada para la alimentación humana. La otra fuente nos conduce todavía más cerca de la domesticación de la lechuga, pero es menos clara a medida que nos remontamos en el tiempo. Un tipo de lechuga conocida como lechuga de semillas de aceite se parece intensamente a la lechuga silvestre, pero presenta características de domesticación. De esta forma, la domesticación de la lechuga habría sido realizada en el valle del Nilo o en la región del Tigris y el Éufrates, que se corresponden con las zonas de diversidad máxima de las especies adventicias de *Lactuca* y de formas emparentadas (Blancard, 2005).

Este cultivo es típico de climas templados, se desarrolla también en climas cálidos por lo que puede cultivarse en altitudes que van de 300 a 670 msnm, pero su desarrollo óptimo es entre los 1350 a 2100 msnm es susceptible a heladas. Las temperaturas mayores a 24 °C, aceleran el desarrollo del tallo floral y deterioran la calidad, pues con el calor se acumula en la planta un látex, que hace amargo el sabor de su hoja, requiere buena humedad en el suelo, pero no le favorece el exceso de lluvia o riego (Bautista, 2000).

La característica botánica afirma que las hojas varían de tamaño, tienen forma más o menos ancha o alargada, espatulada oval o redonda; de color verde de intensidad variable, matizado del color amarillento al rojo violáceo uniforme en el colorido o manchada, superficie lisa o rugosa, reunidas en un tallo corto; tiene raíz pivotante con distintas ramificaciones, su profundidad va hasta 25 cm (Ruiz, 1993).

2.1.3 Taxonomía

La clasificación sistemática fue realizada por Lizarro (2009):

Clase: Magnoliopsida (dicotiledónea)
Subclase: Asteridae
Orden: Asterales
Familia: Asteraceae
Género: Lactuca
Especie: *Lactuca sativa* L.

2.2 Descripción morfológica de la lechuga

La lechuga posee un sistema radicular pivotante y muy ramificado que en riego por goteo no sobrepasa los 35 cm de profundidad. Las hojas, lisas y sin pecíolos emergen alternadamente en forma de roseta de un corto tallo que no se ramifica, con el borde de forma redondeada, rizada o aserrado, formando según variedad un cogollo más o menos apretado en fases vegetativas avanzadas. (Gallardo *et al.*, 1996; Rincón, 2001).

El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado, su tallo es cilíndrico y ramificado (SIAP, 2012).

Cronquist (1989), afirma que las principales características morfológicas de la lechuga son:

- Raíz: Es pivotante, corta y con ramificaciones, no llega sobre pasar los 30 cm de profundidad del suelo.
- Hoja: Están colocadas en forma de rosetas, desplegadas al principio, en algunos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros se acogollan más tarde. Los bordes de los limbos pueden ser lisos, ondulado y aserrado.
- Tallo: El tallo se forma una vez pasada la madurez comercial, puede llegar a medir de 1 a 1,20 m de altura en algunas variedades, es cilíndrico ramificado.
- Inflorescencia: Son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos y son autógamas.
- Semillas: Son pequeños de color marrón oscuro casi negro, marrón más claro, gris amarillento o blanco grisáceo y mide unos 2 mm de longitud.

2.2.1 Requerimiento del cultivo

2.2.1.2. Temperatura

La temperatura ideal durante el día debe estar entre 25 a 28 °C, principalmente durante la noche de invierno es necesario evitar que la temperatura ascienda a menos 0 °C (Estrada, 1990).

Maroto (1995), indica que las temperaturas diurnas comprenden entre 17 a 28 °C y las nocturnas que varían entre 3 y 12 °C, las incidencias de temperaturas más bajas pueden inhibir el crecimiento mientras la amplitud térmica más prolongado estimulan la formación del tallo posteriormente la floración.

Según Mallar (1978), citado por Aruquipa (2008), indica que la lechuga deberá tener temperaturas necesarias para obtener un buen crecimiento y calidad son los siguientes:

- Promedio mensual óptimo 15 a 18 °C.
- Promedio mensual máximo 21 a 24 °C.
- Promedio mensual mínimo 7 °C.

El mismo autor indica que el promedio mensual óptimo 15 a 18 °C favorece la formación de cogollos, las temperaturas altas dan lugar al desarrollo prematuro del tallo, floración y un sabor amargo en las hojas con falta de firmeza en las cabezas. Las temperaturas altas también provocan la aparición de quemaduras de los extremos de las hojas.

2.2.1.3. Humedad

La mayoría de las plantas se desarrollan en un medio ambiente adecuado de humedad relativa que oscila entre 30 a 70%, en lo cual con una baja humedad las plantas se marchitan, un exceso provoca la proliferación de plagas y enfermedades (Flores, 1996).

El cultivo de lechuga se desarrolla bien en ambientes donde la humedad relativa del aire fluctúa entre 60 y 80%, mayores o inferiores a estas cifras suelen alterar el crecimiento y desarrollo del cultivo, también favorecen el ataque de muchas enfermedades (Hartmann, 1990).

2.2.1.4. Propiedades de la lechuga comprobadas científicamente

Los principios amargos, principalmente la lactucina y la lactucopirina de la especie *Lactuca virosa* L., presentan efecto neurosedante (Vólák y Stodola, 1990).

2.2.1.5. Formas de uso recomendadas

Decocción, infusión, látex, extractos fluidos, cremas, lactucario (obtenido del latex o de todas las partes aéreas).

2.2.1.6. Valor nutritivo de la Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), es un alimento que aporta muy pocas calorías por su alto contenido de agua, su escasa cantidad de hidratos de carbono y menor aún de proteínas y grasas, en el contenido de vitaminas destaca la presencia de folatos, pro vitamina A o beta caroteno y las vitaminas C y E (Gómez, 2002 citado por Mendoza, 2011).

Vigliola (1992) citado por Cruz (2003), establece la siguiente composición química del cultivo de lechuga.

Cuadro 1. Composición nutritiva de la lechuga por 100 g. parte comestible

Compuesto	Contenido
Agua	94 g
Proteínas	1,6 g
Grasas	0,2 g
Hidratos de carbono	2,1 g
Vitamina V1 (tiamina)	0,1 mg
Vitamina V2 (riboflavina)	0,1 mg
Vitamina V5 (ácido pantoténico)	0,5 mg
Vitamina A (retinol)	2600 UI
Vitamina C (ácido ascórbico)	0,024 g
Cenizas	0,59 g

Fuente: Hidrohortalizas.com.ar. (2010).

Cuadro 2. Contenido de minerales en cada 100 g. de hojas de lechuga

Minerales	Contenido (mg)
Fosforo	23,0
Potasio	257,0
Calcio	32,0
Magnesio	13,0
Zinc	0,17
Cobre	0,023
Manganeso	0,133
Sodio	5,0
Hierro	0,33

Fuente: Hidrohortalizas.com.ar. (2010).

La lechuga absorbe el 70% de los nutrientes durante el último 30 % de su ciclo, por tal motivo se requieren altos niveles de fertilidad del suelo cerca de la cosecha (Añez y Tavira, 1981).

2.2.1.7. Variedad

Existe una gran cantidad de cultivares o variedades de lechugas, por lo general se convierte en una hortaliza ideal y apreciada en cultivos del huerto familiar. Además de tener una variada gama de sabores, colores texturas a la hora de preparar ensaladas, sus ciclos vegetativos son diferentes, sembrando diversas clases en una misma fecha, se obtiene cosechas escalonadas en el tiempo, por tanto, evita el trabajo sembrar cada 15 días si se quiere escalonar su consumo (Enciclopedia Bolivia Agropecuaria, 2010).

2.2.1.8. Lechuga morada

La lechuga morada tiene una textura suave y con frecuencia se la utiliza en ensaladas. Su color es rojo o entre rojizo y púrpura, también es baja en sodio y en

calorías y por lo general es más saludable que la lechuga verde donde proporciona mucha vitamina A vitamina K y potasio.

2.2.1.9. Desarrollo vegetativo

El ciclo de cultivo comercial de la lechuga se divide en cuatro fases, la fase inicial que comprende la germinación y las primeras etapas vegetativas, la fase de desarrollo del cultivo que va desde el trasplante hasta la formación de una roseta de hojas, la fase de acogollado comprende desde la roseta de hojas hasta la formación completa de un cogollo de hojas (apretado en las variedades acogolladas y poco apretado en las variedades romanas), y por último la fase de reproducción que va desde el final del acogollado hasta la formación de un tallo floral con semillas (Rincón, 2008).

2.2.1.10. Siembra

La multiplicación de la Lechuga suele hacerse con planta en cepellón obtenida en semillero, sembrando en cada alveolo una semilla a 5 mm de profundidad, una vez transcurridos 30 a 40 días después de la siembra, será plantada cuando tenga 5 a 6 hojas verdaderas y una altura de 8 cm. La siembra directa se realiza en caballones o en banquetas a una altura de 25 cm para que las plantas no estén en contacto con la humedad, además de evitar los ataques producidos por hongos. La plantación debe hacerse de forma que la parte superior del cepellón quede a nivel del suelo, para evitar podredumbres al nivel del cuello y la desecación de las raíces (SIAP, 2012).

2.2.1.11. Densidad de plantación

Fersini (1979), señala que se debe tener mucho cuidado al determinar las distancias a las que se van a sembrar o trasplantar las plantas, ya que se debe garantizar el buen desarrollo de las mismas, lo que estará estrechamente ligado a las características de las variedades.

Holle (1985), citado por centellas (1999), menciona que la competencia que se genera entre las plantas, por una mayor captación de nutrientes, luz, agua y espacio vital, ha dado lugar a dos tipos de competencia:

- Interespecífica: Entre el cultivo y las malezas.
- Intraespecífica: Entre las plantas del mismo cultivo.

Influyendo ambos tipos de competencia en las características de las plantas, en lo referido al rendimiento y calidad, donde para cada tipo de cultivo existe un tamaño poblacional adecuado, a partir del cual se establecen las relaciones de competencia entre plantas, sin llegar a afectar en forma negativa en el crecimiento y desarrollo de las mismas.

Hartman (1990), indica que el distanciamiento óptimo para aprovechar al máximo el espacio, cuando se realiza una producción intensiva en lechugas es de 30 cm. entre surcos y 20 cm entre plantas.

Valdez (1993), menciona que en sistemas comerciales de lechuga se puede obtener poblaciones de 66000 a 72000 plantas/ha, utilizando distancias de 0,90 a 1,00 m y de 0,30 a 0,35 m entre plantas y 0,25 m entre hileras.

Según Marulanda (2003), las distancias recomendadas para la lechuga en sustrato sólido son 20 cm entre surcos y 17 cm entre plantas con una población de 23 plantas/m². En cambio, en el sustrato líquido las distancias recomendadas son de 17 cm entre plantas con una población de 28 plantas/m².

2.2.2. Plagas y enfermedades

La FAO (2005), menciona que la mejor forma de controlar las plagas y enfermedades es preparando un suelo con buena proporción de nutrientes, humedad y aire para que las plantas se desarrollen fuertes y sanas de modo que no hay susceptibilidad a ataques.

Otra es mantener mediante deshierbes continuos y controlados, también evitar lugares sombreados y húmedos que proporcionen el crecimiento de los hongos. El cual disminuye la productividad si no se controla a debido tiempo.

Según Sánchez (2005), entre los principales problemas de plagas y enfermedades de la lechuga se pueden clasificar en los siguientes grupos: Enfermedades del semillero y del suelo: Pythium, Fusarium, Sclerotinia, Rhizoctonia, etc.

Enfermedades criptogámicas de la parte aérea: Mildiu, Botrytis, Oidio, Antracnosis, etc. Enfermedades víricas: mosaico y enfermedad de las nerviaciones gruesas. Insectos perjudiciales: pulgones, rosquillas, trips, minadores, etc.

2.2.2.1. Labores culturales

Hartman (1990), citado por Aruquipa (2008), comenta que una vez sembradas las semillas empiezan la etapa de germinación y crecimiento de las plantas durante la cual hay que hacer las labores culturales de raleo, trasplante, deshierbe y riego.

El raleo, consiste en arrancar las plántulas que estén muy cerca entre si y que compiten para crecer. Esta operación se debe hacer en almacigueras. El trasplante, consiste en el traslado de las plántulas germinadas, en una almaciguera al lugar definitivo de crecimiento, el proceso de trasplante es muy delicado ya que de él depende el crecimiento de las plantas hasta la cosecha.

El deshierbe, consiste en arrancar las malas hierbas que pueden competir con los cultivos sembrados, esta actividad se realiza en forma permanente durante todo el proceso de desarrollo vegetativo.

El riego, debe realizarse en horas de la mañana y preferiblemente día por medio aplicando bastante agua para que llegue al área de crecimiento de las raíces.

2.2.2.2. Almacigo

Arias (2009), menciona que es un lugar pequeño y resguardado de la huerta, que permite planificar los cultivos, seleccionar las mejores plantas para su trasplante y ganar tiempo.

El raleo, consiste en arrancar las plántulas que estén muy cerca entre si y que compiten para crecer. Esta operación se debe hacer en almacigueras (Intipampa, 2014).

La siembra en almácigo se realiza con la finalidad de adelantar la cosecha, en climas donde existe el peligro de heladas sorpresivas. En almacigueras se efectúa al voleo en los meses de enero a julio (Llerena, 1980).

2.2.2.3. Trasplante

Estrada (1990), menciona que el trasplante, consiste en el traslado de las plántulas germinadas, en una almaciguera al lugar definitivo de crecimiento, el proceso de trasplante es muy delicado ya que de él depende el crecimiento de las plantas hasta la cosecha. Por otra parte, afirma que para los cultivos de invierno los trasplantes deben ser relativamente grandes de 30 x 20 ó 30 x 22 cm.

Donde la luz penetre mejor, los ataques de botrytis pueden evitarse. También el crecimiento mejora pasando el invierno, las distancias de plantación pueden reducirse a 25 x 20 cm puesto que la luz es más abundante (Gostínchar, 1967 citado por Valdez, 2008).

El trasplante es el traslado de las plántulas germinadas de una almaciguera al lugar definitivo de crecimiento, ya sea en un ambiente atemperado o en un huerto a la intemperie, el proceso de trasplante es muy delicado ya que de él depende el crecimiento de las plantas hasta la cosecha (Hartmann, 1990).

2.2.3. Rendimiento

Para Flores (2009), el rendimiento a campo abierto, en la producción del cultivo más importante dentro de las hortalizas es de 4 a 6 kg/m².

Al respecto Arias (2009), menciona que el rendimiento de la lechuga se halla en un orden de 2 a 3 kg/m².

Marulanda (2003), menciona que el rendimiento de la lechuga en suelo es de 1,6 kg/m², y en hidroponía de 3,5 kg/m².

2.2.4. Historia de la Acuaponía

La acuaponía puede definirse como la combinación de un sistema de acuicultura recirculante, con la hidroponía, definiendo la acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas en ambientes controlados, la hidroponía como el cultivo de plantas donde las raíces son sumergidas en soluciones nutritivas (Malcolm, 2005; Parker, 2002).

Estos desechos nutren a las plantas y estas a su vez, limpian el agua haciéndola disponible nuevamente para que sea reutilizada por los peces. En términos generales se trata de generar un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por organismos acuáticos (generalmente peces) son convertidos, a través de la acción bacteriana, en nitratos que sirven como fuente de alimento para plantas. Estas a su vez al absorber los nitratos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico (Nelson, 2007; Parker, 2002; Van Gorder, 2000).

Actualmente los sistemas hidropónicos más utilizados en la producción acuapónica son: el sistema NFT (fluido constante de nutriente), la cama flotante (raíz flotante) y sistemas de “llenado y vaciado” (Ebb and Flow) o sistemas hidropónicos en camas con sustrato (Mateus, 2009).

La implementación de sistemas acuapónicos a través del tiempo ha traído varios beneficios, con un buen diseño y funcionamiento adecuado reduce en un 90% los

requerimientos de agua necesaria para un cultivo normal de peces; puede aumentar los rendimientos y bajar los costos de producción sin la necesidad de contar con grandes extensiones de tierra, además de ahorrar hasta un 45% en fertilizantes en una producción de hortalizas, ya que el agua de un sistema de producción de peces proporcionan el 80% de los 17 elementos que necesitan las plantas para su desarrollo (CICESE, 2008).

La acuicultura es una de las actividades de mayor crecimiento y mayor rendimiento en la producción de alimentos. Sin embargo, su alta demanda de recursos y repercusiones en el medio ambiente hacen que la acuicultura no sea un negocio ambientalmente amigable (Trang y Brix, 2014).

Un referente de esta actividad, es el Dr. Rakocy, quién llevó adelante un sistema de producción e investigación en la Universidad de las Vírgenes – EEUU, por más de 30 años; logrando mejoras en el desarrollo de las tasas y cálculos, que maximizaran las producciones de peces y vegetales, manteniendo un balance del sistema. Con la aparición de datos concretos sobre acuaponía, comenzaron a aparecer producciones comerciales, existiendo gran cantidad de emprendimientos, aunque la actividad siga siendo relativamente nueva.

La versatilidad de los montajes permite identificar, además de la escala comercial, la familiar o la de autoconsumo, a una tercera semi-comercial. Se trata, además de una alternativa muy interesante para el mejoramiento de las economías familiares y comunales. En Australia, los sistemas acuapónicos domésticos son muy utilizados, y es muy común encontrarlos configurados para funcionar en espacios muy reducidos, otra modalidad utilizada de los sistemas acuapónicos es la que se desarrolla con fines ornamentales, tanto con peces como con plantas acuáticas, que pueden producir una rentabilidad importante si se maneja correctamente su comercialización.

2.2.5. Principios de la acuaponía

El sistema de recirculación de agua que integra la producción de organismos acuáticos (peces principalmente) y vegetales, se conoce como acuaponía. Tales sistemas se basan en el principio de utilizar los desperdicios nitrogenados provocados por el metabolismo de los peces como nutrientes necesarios para el crecimiento de plantas, frutos o vegetales.

Las plantas y bacterias nitrificantes, filtran el agua extrayendo los desechos nitrogenados como fuente de alimento mejorando así, el ambiente de los peces promoviendo su crecimiento.

Figura 1. Esquema del proceso de los compuestos nitrogenados en la acuaponía



Fuente: Duckworth, (1999).

El sistema de acuaponía se reduce la cantidad de nitrógeno de las fuentes de descarga del agua. Por esta razón se puede reutilizar ya que esta queda libre de compuestos dañinos.

Esto implica también una reducción de los costos de operación por gastos de agua al sistema, sobre todo en zonas donde el abastecimiento de este recurso es escaso.

Esta actividad incrementa la rentabilidad de la granja acuícola ya que la producción de vegetales con este sistema adquiere un valor comercial mayor al ser considerado como “productos orgánicos” ya que no se utiliza pesticida, fungicida, etc. Debido a que los nutrientes se encuentran en el agua de los peces.

2.2.6. Tipos de acuaponía

Existen tres sistemas acuapónicos principales y varias combinaciones entre los mismos. Estos sistemas han sido derivados directamente de los sistemas hidropónicos, con alteraciones para adaptarlos al cultivo intensivo de peces. Los sistemas son los siguientes diseños de un sistema acuapónico propuesto por el manual de la FAO y en ETSIA (Somerville et al., 2014).

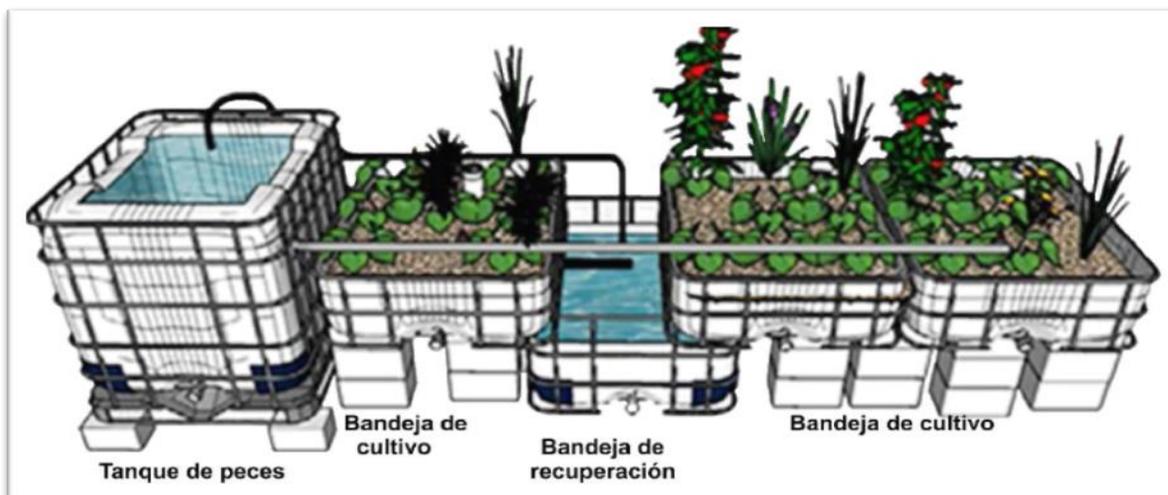
2.2.6.1. Técnica de cama de cama de cultivo de sustrato (cama o MBT)

Las unidades acuapónicas que constan de un sustrato en la cama del cultivo son las más utilizadas, en el caso de instalaciones a pequeña escala. Este método se recomienda para la mayoría de regiones en vías de desarrollo.

Estas unidades generalmente toman poco espacio, tienen un costo inicial relativamente bajo y son adecuados para los pequeños agricultores principalmente debido a su operación simple.

Para estos tipos de unidades de sustrato, la cama de cultivo se utiliza tanto como un portador por las plantas (para apoyar raíces) y también como un filtro mecánico (para retener las partículas gruesas) y como un filtro biológico (fijación bacteriana).

Figura 2. Representación de una unidad de acuaponía que consta de una cama de cultivo con sustrato



Fuente: (adaptado de FAO).

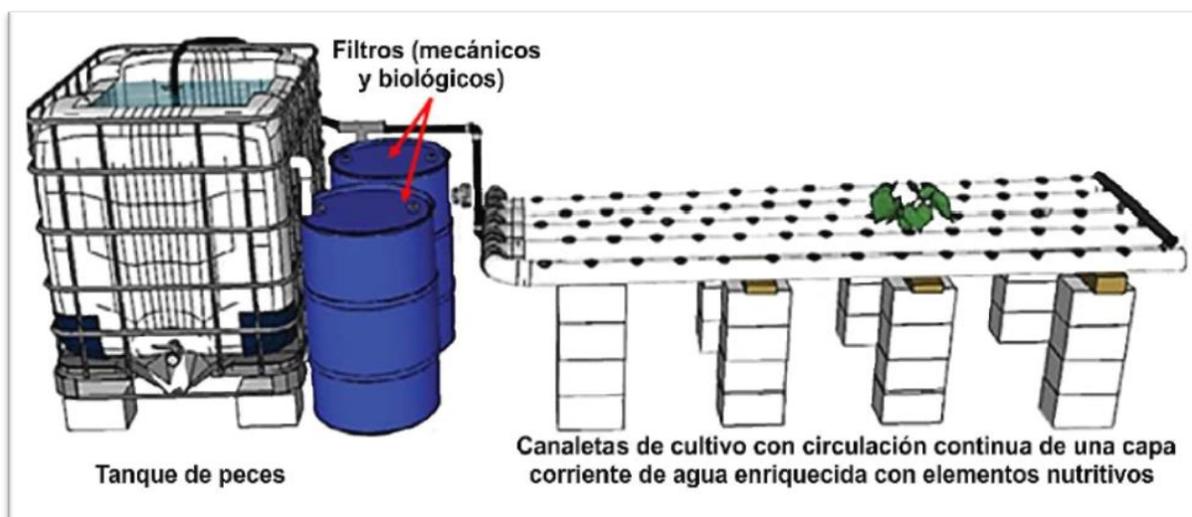
2.2.6.2. Técnica de cultivos en capas de nutrientes (NFT)

La técnica de cultivo de capa de nutriente es un método hidropónico para sembrar plántulas en un tubo ligeramente inclinado, en el que fluye un goteo continuo rico en nutriente (técnica de capa de nutrientes).

Las plantas se colocan en los agujeros perforados en la parte superior de la tubería, y sus raíces que están protegidas de la luz, son capaces de utilizar esta delgada película de agua rica en nutrientes.

Esta técnica es mucho más complicada y cara de desarrollar que las camas de cultivo con sustrato, y no se recomienda en zonas de difícil acceso a proveedores, sin embargo, en las zonas urbanas, donde las superficies y el peso de las instalaciones son limitados, el establecimiento de un sistema de este tipo, con las cosechas de surcos dispuestos uno encima del otro, es una buena opción. En todos los casos, esta técnica requiere la instalación de filtros mecánicos y biológicos para eliminar los sólidos en suspensión y, paralelamente, para oxidar los residuos tóxicos disueltos (conversión de amoníaco a nitrato).

Figura 3. Representación de la unidad de acuaponía que consiste en el cultivo en una capa de agua enriquecida con nutrientes

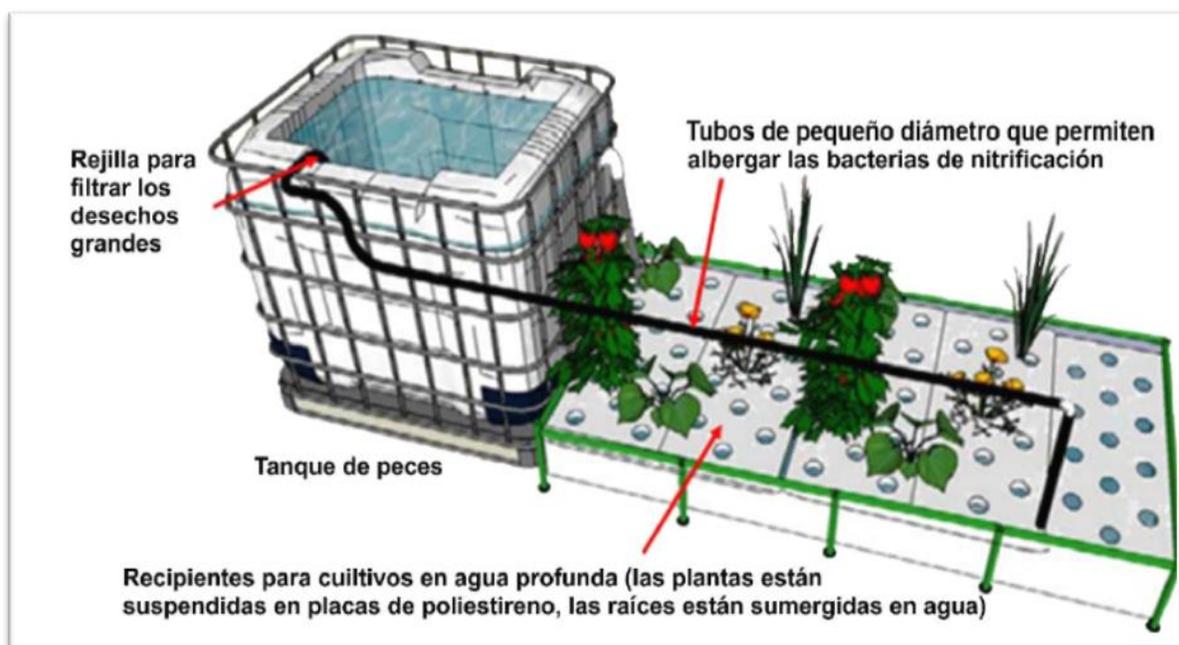


Fuente: (adaptado de FAO).

2.2.6.3. Técnica de cultivos de aguas profundas

La técnica de cultivo en aguas profundas conocida como la balsa, es un método que implica la suspensión de las plantas en una placa de poli estireno (en general), con sus raíces colgadas hacia abajo en dirección al agua que fluye por debajo de las placas. Este método se utiliza habitualmente para grandes estructuras acuapónicas, con fines comerciales, así como para cultivos específicos como hortalizas con hojas (por ejemplo: cultivo de lechuga, hiervas como la albahaca, menta, etc.). Esta técnica es también más fácil de automatizar que las técnicas anteriores. A escalas más pequeñas, esta técnica es más compleja de implementar que las camas de sustrato, sobre todo si el acceso a los materiales de construcción es limitado (por ejemplo: poli estireno, etc.). Tener en cuenta que, como la técnica de cultivo con capa de agua con nutrientes, es necesario instalar dos filtros separados (mecánicos y biológicos). Sin embargo, un cultivo de cama con sustrato también se puede utilizar como un sistema de filtración de agua antes de alcanzar el cultivo de aguas profundas como muestra la (Figura 4).

Figura 4. Acuaponía que consiste en cultivos de agua profundas en filtro (las tuberías y los sistemas recirculante de los



Fuente: (adaptado de FAO).

2.2.6.4. Ventajas de la acuaponía

Según Escalante (2001), la acuaponía presenta un gran número de ventajas con respecto a los cultivos realizados en suelo. Una de las ventajas de la Acuaponía, es que, a diferencia de la hidroponía, no se necesita preparar soluciones nutritivas pues las plantas comen compuestos orgánicos, es decir, los desechos de los peces disueltos en el agua y la planta toma lo que necesita. En la hidroponía, los elementos deben añadirse en cantidades específicas y adquirirse por separado, incrementando los costos al sistema.

No se contamina con los residuos del cultivo hidropónico puesto que el agua de los peces se circula a través del cultivo hidropónico y esta es regresada al estanque. Se cosechan tanto peces como plantas. Cada un año, sin embargo, es necesario limpiar el fondo del tanque de los peces pues acumulan algo de sedimento.

- Promueve el balance de aire, agua y nutriente: al utilizar un sistema de cultivo en suelo, es difícil abastecer a las raíces con las cantidades de agua, aire y nutrientes que requieren.
- Permite una mayor densidad de población, las plantas en este sistema podrían plantarse a menor distancia una de la otra entre 15 a 30 cm.
- Control de pH: es un factor que influye notablemente en las asimilaciones de los nutrientes para el equilibrio de las plantas y peces.
- Permite obtener productos orgánicos: ya que no se utilizan químicos, pesticidas, fungicidas ni fertilizantes porque podría dañar directamente a los peces.
- El rendimiento del sistema acuapónico es similar o superior al del cultivo hidropónico, ya que por cada tonelada de pescado que se produce por acuaponía al año, se pueden llegar a obtener más o menos siete toneladas de algún cultivo vegetal.
- Permite producir varias cosechas al año: implica en abastecer la demanda del mercado durante todo el año.
- Ahorro en el consumo de agua: en la acuaponía generalmente se recircula el agua en el sistema, donde las plantas se encargan de filtrar el agua para ser utilizada nuevamente por los peces.

2.2.6.5. Desventajas de la acuaponía

- Falta de estudios: debido a esto todavía se están realizando pruebas para optimizar el sistema.
- Es importante integrar dos cultivos con los mismos requerimientos ambientales: es importante conocer especies que se puedan adaptar y equilibrar para no causar daño.
- La cantidad de espacio requerida es más grande debido a los estanques para los peces y los sistemas de filtrado.

2.2.6.6. Parámetros a tener en cuenta en un sistema acuapónico

La calidad del agua se mide a través de ciertos parámetros como, temperatura, pH, oxígeno disuelto y compuestos nitrogenados (amoníaco, nitrato, nitrito): la mayoría de estos parámetros se miden por un medio de kits comerciales.

Cuadro 3. Parámetros generales del agua para los peces plantas y bacterias

Tipos de organismo	Temp (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Peces de agua cálida	22-32	6-8,5	<3	<1	<400	4-6
Peces de agua fría	10-18	6-8,5	<1	<0,1	<400	6-8
Plantas	16-30	5,5-7,5	<30	<1	-	>3
bacterias	14-34	6-8,5	<3	<1	-	4-8

Fuente:(Bustamante, 2015).

Cuadro 4. Parámetros ideales para la acuaponía

	Temp (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Acuaponía	18-30	6-7	<1	<1	5-150	>5

Fuente:(Bustamante, 2015).

Cuando los niveles de amonio y nitrito sean superiores a los tolerados por la especie de peces cultivados, se recomienda cambiar parcialmente el agua (cerca de un 20%), aumentar el tiempo de bombeo, disminuir la dosis de alimento de los peces e incrementar el número de plantas en las camas (Colagrosso, 2014).

2.2.6.7. 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 5 mg/L o más.

2.2.6.8. 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.

2.2.6.9. Conductividad Eléctrica (C.E.).

La conductividad eléctrica hace referencia a la salinidad del agua, misma que no debe rebasar los 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

2.2.6.10. 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 .

2.2.6.11. Hidroponía

Douglas (1987) e Izquierdo (2005), indican que “el término hidropónico deriva de dos palabras griegas. Hydro = agua y Ponos = trabajo o cultivo, que al conjuncionarse significan trabajo en agua y es una alusión al empleo de agua y fertilizantes químicos u orgánicos para el cultivo de plantas sin tierra”.

FAO-RLC (2000), indica que la hidroponía es un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales,

disueltos en agua y que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte o simplemente la misma solución.

2.2.6.12. Cultivos Hidropónicos

Según Michelena (2004) y Huterwal (1956), los cultivos hidropónicos se denominan de esta forma porque los nutrientes requeridos por las plantas se administran a través de un medio líquido (solución sintética de agua con sales minerales). El trasplante de los plantines debe hacerse en sustrato sólido y en sustrato líquido (agua); en ambos casos se cultivan a partir de semilleros; también se realizan siembras directas en sustrato sólido.

Izquierdo (2005), afirma que los cultivos hidropónicos son cultivos sin suelo, éste es reemplazado por un sustrato inerte donde los nutrientes (el alimento) que necesita la planta para vivir y producir son aplicados en el riego. También son cultivos hidropónicos aquellos que se cultivan en agua con nutriente. En un sistema hidropónico se puede cultivar todo tipo de plantas como, por ejemplo, hortalizas, flores, pastos para forraje, plantas ornamentales, condimentos, plantas medicinales y hasta cactus.

Ventajas de los cultivos hidropónicos Son cultivos sanos pues se riegan con agua potable y se siembran en sustratos limpios y libres de contaminación. Existe mayor eficiencia en el uso del agua, son apropiados para ocupar los espacios pequeños como techos, paredes, terrazas; se obtienen mayor cantidad de plantas por superficie (Izquierdo, 2000).

2.2.6.13. Manejo del sistema acuapónico

2.2.6.14. 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, 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 (Cuadro 5) y su disponibilidad en muchos lugares.

Cuadro 5. Niveles de temperatura, nitrógeno, oxígeno disuelto y requerimiento de proteína para especies acuáticas usadas en acuaponía

Especie	Temperatura (°C)		Nitrógeno Amoniacal	Nitritos (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Proteína cruda en Alimentos (%)
	vital	optima	Total (mg/L)			
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

Fuente: (Somerville, 2014).

2.2.7. Descripción de la especie utilizada en el cultivo

2.2.7.1. Carpa (*Cyprinus carpio*)

La producción acuícola histórica de Bolivia se caracteriza por tener niveles muy bajos como se puede observar en el siguiente cuadro, esta baja producción es debida en gran porcentaje a la falta de conocimientos técnicos de los productores como se muestra en el (Cuadro 6).

Cuadro 6. Producción de toneladas de pescado por año en Bolivia

Años	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2004
Toneladas	144	159	266	649	617	520	300	312	320	328	450

Fuente: (FAO, 2000).

A pesar de la gran diversidad de especies nativas presentes, en los tiempos pasados se ha puesto mayor énfasis en la piscicultura con especies introducidas, como la Tilapia (*Tilapia nilotica*) y la Carpa (*Cyprinus carpio*), que se constituyen en una alternativa piscícola-productiva (Guerra *et al.*, 1995)

(Castañón *et al.*, 2001), señala que hasta el momento las especies que han sido introducidas a Bolivia son: La carpa común, carpa espejo o carpa de Israel, carpa herbívora, carpa plateada, carpa cabezona, carpa negra, carpa koi y carpa barrigona.

La carpa *Cyprinus carpio* fue introducida con objeto de poblar la laguna angostura del departamento de Cochabamba en la década del 1962 a cargo de la Universidad mayor de San Simón, al igual que el pejerrey. Utilizando alevines o reproductores capturados en esta laguna, se realizaron siembras de esta especie en muchos cuerpos de agua de la región subtropical y de valle del país, donde de momento se puede encontrar una producción de consumo local, particularmente en pequeñas comunidades campesinas (FAO, 2000).

2.2.7.2. Distribución geográfica

Cyprinus carpio conocida como Carpa espejo, es un pez introducido en América por piscicultores del Viejo Mundo a finales del siglo XIX, los cuales la consideraban como excelente fuente de alimentación. Estos a su vez, la obtuvieron de piscicultores chinos que la cultivaban desde hace más de 2500 años. Hoy en día su distribución es sumamente amplia abarcando gran parte del continente y se la considera como uno de los peces de cría más importantes del mundo. Según la FAO la producción mundial de carpa aumenta en mayor medida que cualquier otra especie de agua dulce (Secretaría de Pesca -México, 1986).

Osorio (2005), menciona que, en Bolivia, al parecer no se tienen registros completos sobre el estado y distribución "natural" de esta especie, aunque se sabe que sí se la cultiva en los departamentos de La Paz, Cochabamba, Santa Cruz y Tarija en pequeña escala en estanques y atajados (piscicultura de subsistencia), el volumen de producción en el año 1993 fue de 45 toneladas métricas y en 1994 fue de 35. Por otro lado, se crearon cuatro proyectos piscícolas con el objetivo de promover el desarrollo regional.

2.2.7.3. Descripción morfológica

(Castañón *et al.*, 2001), menciona que la carpa espejo presenta un color verdoso en la espalda, su vientre es ligeramente amarillento, no obstante, estos colores pueden modificarse de acuerdo al medio ambiente donde vive. Su cuerpo no está completamente cubierto por escamas y las pocas que presenta se localizan en la línea lateral y en algunos lugares del cuerpo como la región dorsal (Figura 5).

(Aguilera *et al.*, 1998), señalan que la carpa espejo es otra variedad de la carpa común, con cuerpo robusto y alto; alcanza tallas de 50 a 60 cm. de longitud promedio, pesa de 3 a 5 Kg. Se caracteriza por presentar una hilera de gruesas escamas en ambos lados del dorso; se desarrolla mejor en lugares poco profundo con aguas quietas, claras o turbias, es una especie muy resistente a las condiciones ambientales adversas, lo que la hace ideal para el cultivo en cuerpos de agua temporales o bien en encierros y jaulas.

Figura 5. Carpa espejo (*Cyprinus carpio*)



Fuente: (Colque V. 2017).

Presenta aletas que también se las conoce con el nombre de apéndices estas se dividen en pares e impares. Su aleta dorsal es única, muy alargada y tiene tres o cuatro radios simples, el último de los cuales es grueso y denticulado, de 17 a 22 radios ramificados. La boca termina y posee unos labios gruesos que pueden ser proyectados hacia delante. La presencia de cuatro barbillas en el labio superior la diferencia del carpín, que se parece por sus demás caracteres (Huet, 1998).

2.2.7.4. Nutrición y alimentación

La ciencia de la nutrición es relativamente nueva comparada con otras ciencias, a partir de 1945 se ha descubierto el rol de los aminoácidos, vitaminas y minerales esenciales (Huet, 1998).

Según Tacon (1989), señala que la nutrición representa el eje principal de la producción animal donde los animales correctamente alimentados sin excesos ni deficiencias son más resistentes a las enfermedades y logran tener una vida más larga y productiva sin cambios metabólicos que producen afecciones al animal y baja en su producción.

La nutrición de los peces ha tenido procesos lentos, pero en los últimos años se han logrado importantes resultados. En la piscicultura moderna es necesario conocer la relación entre el alimento y el pez, pues del alimento se debe de conocer la disponibilidad, composición química, digestibilidad, valor nutritivo, limitaciones en su uso (presencia de toxinas, contenido de grasas) y su precio; del pez, se debe de conocer el requerimiento nutricional, composición química, fisiología digestiva y aprovechamiento del alimento, además de considerar factores externos como la cantidad y la calidad de agua (oxígeno disuelto, temperatura, anhídrido carbónico, pH) (CIDAB, 2002).

Los animales no utilizan los alimentos directamente, sino que aprovechan los nutrientes que son liberados mediante la digestión y son absorbidos por los líquidos y tejidos del cuerpo (Cañas, 1995).

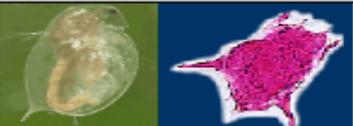
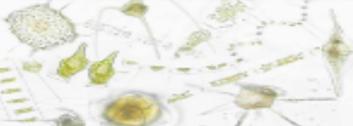
Los nutrientes son más de 40 sustancias químicas que incluyen los aminoácidos, las vitaminas y minerales que son ingeridos y utilizados en forma apropiada a través de las células, órganos y tejidos (CIDAB, 2002).

2.2.7.5. Hábitos alimenticios de la carpa espejo (*Cyprinus carpio*)

Love (1980), citado por López (1997), indica las dietas de unas 600 especies de peces y concluye que un 85% de ellas son carnívoras, un 6% herbívoras, un 4% omnívoras, un 3% detritívoras y un 2% parásitas.

Secretaría de Pesca-México (1986), señala que la mayoría de las carpas se caracterizan por aceptar cualquier tipo de alimento; a veces son omnívoras, detritívoras o herbívoras, en este caso se nutren de plantas acuáticas (hierba).

Cuadro 7. Alimentación de la carpa durante las distintas fases de su desarrollo

NUTRICIÓN DE LA CARPA EN SUS DIFERENTES FASES		CRIA 	JUVENIL 	ADULTO 
	Zooplankton	✓	✓	✓
	Fitoplankton		✓	✓
	Insectos		✓	✓
	Moluscos		✓	✓
	Vegetales		✓	✓

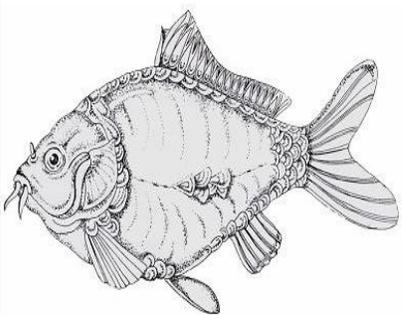
Fuente: Secretaria de Pesca-México (1986).

Los alevinos se alimentan de zooplancton (larvas, huevos de peces), también aceptan alimento artificial en esta fase, y durante todo el ciclo de vida. Cuando las carpas van creciendo consumen diferentes tipos de alimentos (Cuadro 7), es así que pueden comer hojas tiernas de vegetales: yuca (*Manihot sculenta*), hualusa (*Xanthosoma sagittifolium*), papaya (*Carica papaya*), etc., algas, pequeños crustáceos, lombrices, desechos de cocina, rastros de hortalizas: lechuga (*Lactuca sativa*), acelga (*Beta vulgaris*), etc. y alimento balanceado (Castañón *et al.*, 2001).

(Aguilera *et al.*, 1998), menciona que la alimentación de la carpa es muy variada, ya que presenta hábitos alimenticios que van desde los herbívoros, malacófagos, detritófagos u omnívoros, según la especie. También aceptan alimento artificial, lo que concede ventajas para su cultivo.

La Carpa espejo, Carpa común y la barrigona son omnívoras, con tendencias detritófagas aceptan desperdicios pequeños, organismos acuáticos que se encuentran en descomposición en el fondo del estanque, cuando mide cerca de 10 cm de largo empieza a alimentarse de la fauna del fondo; se entierra en el lodo, extrayendo larvas de insectos, gusanos y moluscos.

Cuadro 1. Hábitos alimenticios de diferentes especies de carpa (Fase adulta).

Especie	Nombre científico	Nombre común	Hábitos alimenticios (Fase adulta)
	<p><i>Cyprinus carpio s</i></p>	<p>Carpa de Israel o carpa espejo</p>	<p>Omnívora bentófaga</p>

Fuente: Aguilera *et al.*, (1998).

2.2.7.6. Requerimientos nutricionales

Los nutrientes requeridos por los peces para el crecimiento, reproducción y otras funciones fisiológicas normales son similares al requerimiento de los animales terrestres (CIDAB, 2002).

(Guerra *et al.*, 1995), señala que estos están directamente relacionados con el hábito alimenticio de los peces.

2.2.7.7. Proteínas

(Guerra *et al.*, 1995), menciona que las proteínas y los aminoácidos son los factores más importantes para la vida y crecimiento del pez. Las proteínas están constituidas por unidades nitrogenadas denominadas aminoácidos, existen de 20 a 23 aminoácidos conocidos.

Experimentos realizados en algunas especies de peces sobre crecimiento utilizando dietas deficientes en distintos aminoácidos y otros llevados a cabo con aminoácidos marcados, han llevado a la conclusión de que hay 10 aminoácidos esenciales para los peces (treonina, valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, metionin, triptofano, arginina, histidina y lisina), aunque algunas especies pueden necesitar alguno distinto, como lo es la cisteina para la dorada (*Sparus aurata*) (Martínez, 2005).

Cañas (1995), menciona que la proteína es el componente principal en la dieta para peces, tiene como función contribuir al crecimiento y si existe un exceso de ellas puede constituir una fuente de energía de reserva o simplemente eliminar su subproducto (amonio soluble) a través de las branquias.

En la dieta de la carpa la proteína es uno de los nutrientes más importantes ya que para un crecimiento óptimo requiere de 35 a 38% de proteína; porcentajes mayores no aumentan el crecimiento. Aunque otros autores señalan que la dieta de la carpa necesita de 38.5 a 40% de proteínas (Martínez, 2005).

Existen dos fuentes de proteínas: las de origen vegetal y las de origen animal. Las materias primas que aportan proteínas de origen animal son las harinas de pescado, y de sangre principalmente, estas son ricas en todos los aminoácidos. Las proteínas de origen vegetal se obtienen del polvillo de arroz, maíz, torta de soya, torta de algodón, etc. La cantidad que se usa en la dieta depende no solamente de su contenido de proteína y aminoácidos sino también de su digestibilidad, toxicidad y costos. Estos insumos son por lo general deficientes en metionina y lisina como menciona (Guerra et al., 1995).

Cañas (1995), señala que en la alimentación de peces bajo cultivo intensivo existen dos tipos de dietas: dieta inicial y dieta final (seca o húmeda). La dieta inicial es rica en proteínas para la formación estructural y formación de músculos en la fase de alto crecimiento. Esta dieta no contiene carbohidratos debido a la capacidad que tienen los alevines para la utilización de la proteína con fines energéticos.

2.2.7.8. Lípidos

Los lípidos están conformados por carbono, hidrógeno y oxígeno, algunos fosfolípidos contienen además nitrógeno y fósforo, son fuente importante de mayor energía que los otros nutrientes. Los lípidos en forma líquida son los aceites que se encuentran en los vegetales (granos) y las grasas sólidas se encuentran en los animales, son insolubles en el agua y solubles en solventes orgánicos (Cañas 1995).

Los ácidos grasos linolénico y linoleíco son esenciales para peces tropicales y deberían ser incorporados a niveles por lo menos de 1% del alimento para el máximo crecimiento. Esto puede lograrse con la adición de 3 a 5% de aceite de pescado o 10% de aceite de soya (Guerra et al., 1995).

El lípido tiene funciones importantes en la fisiología de los peces, son transportadores de las vitaminas liposolubles A, D y K los mismos que proveen energía digerible al igual que los ácidos grasos esenciales (AGE). Las necesidades de AGE en los peces son del 1% (Martínez, 2005).

Es importante saber que cuando una dieta contiene mucha grasa, durante su almacenamiento se produce rancidez, dañando la calidad del alimento e inclusive exponiendo a los peces a problemas por toxicidad. Una buena fuente de grasa para los peces es el aceite de pescado (CIDAB, 2002).

2.2.7.9. Carbohidratos

Después de las proteínas y lípidos los carbohidratos representan el tercer grupo de componentes orgánicos más abundantes en el cuerpo animal (CIDAB, 2002).

Es importante resaltar que menos del 1% del peso húmedo total del pez está constituido por carbohidratos. Después de ser absorbidos, los carbohidratos son usados como fuente de energía, almacenados como glicógeno o transformados en grasa, es así que son usados para la producción de energía (Guerra *et al.*, 1995).

Los carbohidratos constituyen la mayor fuente de energía para el hombre y la mayoría de los animales, pero no para los peces, debido a que no se ha establecido un requerimiento absoluto de carbohidratos en la dieta. Sin embargo, los monosacáridos están más disponibles nutricionalmente para los peces, en relación a los disacáridos y estos más que los polisacáridos (Cañas, 1995).

Martínez (2005), señala que el consumo de los carbohidratos y lípidos como fuente de energía por parte de la carpa, es eficaz. Por ejemplo: cuando se incrementa el contenido de energía alimenticia digerible de 320 a 460 Kcal/100gr de dieta, no hay mejora en el crecimiento ni en la eficiencia del alimento.

2.2.7.10. Vitaminas

(CIDAB 2002), señala que el requerimiento de vitaminas para los peces varía según: la especie, tamaño de los peces, tasa de crecimiento, relación mutua de los nutrientes, medio ambiente (temperatura) y función metabólica (crecimiento, respuesta al estrés, resistencia a las enfermedades).

Guerra et al., (1995), indica que las materias alimenticias de origen vegetal, por lo general tienen mayor concentración de ciertas vitaminas hidrosolubles. Por otra parte, los alimentos de origen animal son más ricos que los vegetales en vitaminas liposolubles como A, D, y K, el ácido pantoténico y vitamina B₁₂. Por esta razón los alimentos para peces omnívoros o herbívoros por lo general contienen una mayor proporción de harinas de cereales y menor de harina de pescado o ingredientes de origen animal.

2.2.7.11. Minerales

Los peces requieren minerales como factores esenciales, para el metabolismo y el crecimiento. Los peces tienen la capacidad de absorber parte de los minerales requeridos directamente del agua a través de las branquias o incluso a través de toda la superficie corporal. Este proceso es importante para la osmoregulación en los peces de agua dulce, pero también para su nutrición. Sin embargo, los minerales absorbidos del agua no satisfacen el requerimiento total, por lo que es necesario agregar minerales en la dieta (Guerra *et al.*, 1995).

2.2.7.12. Alimentos para peces en cautiverio

(Castañón *et al.*, 2001), señala que la alimentación de los peces en cautiverio, puede realizarse ya sea utilizando alimentos naturales, suplementarios y balanceados. La utilización de cada uno de ellos estará en función de la cantidad de peces, tamaño del estanque, cantidad de alimento natural que produce el estanque, disponibilidad de insumos locales, recursos económicos y tiempo del eco piscicultor, etc.

A continuación, describimos algunas de las características de estos dos tipos de alimentos.

2.2.7.13. Alimentos naturales

(Guerra *et al.*, 1995), menciona que dentro de este tipo de alimentos se tiene un primer grupo que está constituido por el plancton que se desarrolla en los estanques

después de la fertilización. Este alimento constituye la base de la alimentación de los peces, sobre todo de los alevines.

Otro grupo de alimento natural está constituido por los insectos, los cuales también son consumidos por los peces. Mucho de los piscicultores de la región yungueña está utilizando insectos como las termitas o “kurumi” para alimentar a sus peces (Castañón *et al.*, 2001).

(Castañón *et al.*, 2001) Las plantas acuáticas que crecen dentro o sobre la superficie del estanque, también son consideradas como alimento natural, aunque su consumo depende de la especie de pez que estamos cultivando y la etapa en la que se encuentra.

Sahonero (1989), menciona que el alimento natural, este compuesto por las algas y animales microscópicos, materia verde en descomposición, insectos, larvas de insectos, plantas flotantes y muchas otras plantas acuáticas.

Según Woyuarovich (1989) señala que la preferencia de Zooplancton por los peces se puede comparar con la “lactancia” ya que así se suministra proteína animal de excelente calidad y esto repercutirá en el crecimiento, buena salud, presencia de factores inmunológicos, etc. Sin embargo, a pesar de haber una saturación de Zooplancton las larvas pueden morir o desaparecer si no se toman en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El alimento vivo (zooplancton) debe ser más pequeño que la boca de la post-larva.
- No debe haber inicialmente mucha luz solar ni al contrario mucha oscuridad, ya que las formas zooplantónicas pueden ser transparentes y la larva no las visibilizara.
- La cantidad de zooplancton comestible debe ser cinco veces mayor que el número de post-larvas sembradas, ya que estas no son tan sagaces ni tienen aún el sistema olfativo debidamente desarrollado para la búsqueda de la presa de caza.

2.2.7.14. Alimentos suplementarios

Se llama alimento suplementario aquel que los eco piscicultores proporcionan a los peces, siendo un alimento que no se produce dentro del mismo estanque. Este grupo de alimentos, tienen dos fuentes de origen; los productos naturales como: hojas tiernas de walusa, yuca, banano, maíz y los subproductos del proceso

Industrial, como: afrechillo de trigo, torta de soya, harina de sangre, harina de carne (Castañón *et al.*, 2001). A este alimento suplementario no podemos llamarle balanceado porque no cumple con todos los requerimientos nutricionales del pez.

(Castañón *et al.*, 2001), señala que lo que se busca con el suministro del alimento suplementario es acelerar el crecimiento de los peces para conseguir cosechas más seguidas y aprovechar insumos que son fáciles de encontrar en la región.

2.2.7.15. Alimentos balanceados

(Ferre, 1982), señala que la mayoría de las carpas se caracterizan por aceptar cualquier tipo de alimento, las crías generalmente se alimentan de zooplancton, sin embargo también aceptan alimento artificial durante todo su ciclo de vida.

Este tipo de alimento se caracteriza porque contiene todos los nutrientes que necesita el pez para desarrollarse de manera normal y rápida. Por lo general, tiene un precio elevado en comparación a los naturales y suplementarios y sólo se recomienda su uso en las explotaciones piscícolas netamente comerciales (Crianza de trucha).

2.2.7.16. Reproducción

Las hembras alcanzan su madurez sexual a los 2 años y los machos a los 1 ½ años dependiendo de la temperatura. El número de óvulos por kg es de 80,000 a 100,000.

Se reproducen una vez al año a una temperatura entre los 18 – 28 °C durante los meses de marzo a agosto.

2.2.7.17. Diferencias entre la acuaponía y los cultivos convencionales

Cultivo agrícola tradicional	Hidroponía	Acuicultura intensiva	Acuaponía
<p>Malas Hierbas</p> <p>Uso desmesurado del agua.</p> <p>Requiere conocimiento cuando el agua, cuando fertilizar, la calidad del suelo.</p> <p>Se requiere de mucho esfuerzo físico.</p> <p>Presencia en el suelo de Insectos.</p> <p>Plagas.</p>	<p>Resulta costoso por el uso de los nutrientes.</p> <p>La mezcla de las sales hidropónica tiene que ser de mucho cuidado y requiere una constante evaluación del pH.</p> <p>El agua en los sistemas hidropónicos requiere de una constante descarga del mismo ya que la permanencia en demasía de las sales puede llegar a podrir la raíz.</p> <p>Puede producir la enfermedad llamada Phytium.</p>	<p>El tanque de peces se convierte en efluentes de pescado que emiten altas concentraciones de amoníaco.</p> <p>Peces pocos saludables debido al uso de medicamentos durante su cultivo.</p> <p>Descargas diarias de agua del 10 al 20%. Esta agua contaminada es a menudo bombeada a sistemas de agua abierta como ríos y lagos causando en muchos casos la Eutrofización del mismo.</p>	<p>Se necesita de un monitoreo de calidad exhaustivo los 2 primeros meses y una vez establecido el sistema se hace un monitoreo mensual de pH y amonio. Nunca existe una descarga o reemplazo del agua tan solo se reemplaza un 10% del volumen total al año debido a la evaporación de las plantas.</p> <p>Virtualmente no existen problemas de Phytium.</p> <p>Enfermedades de Peces es raro en este tipo de sistemas.</p>

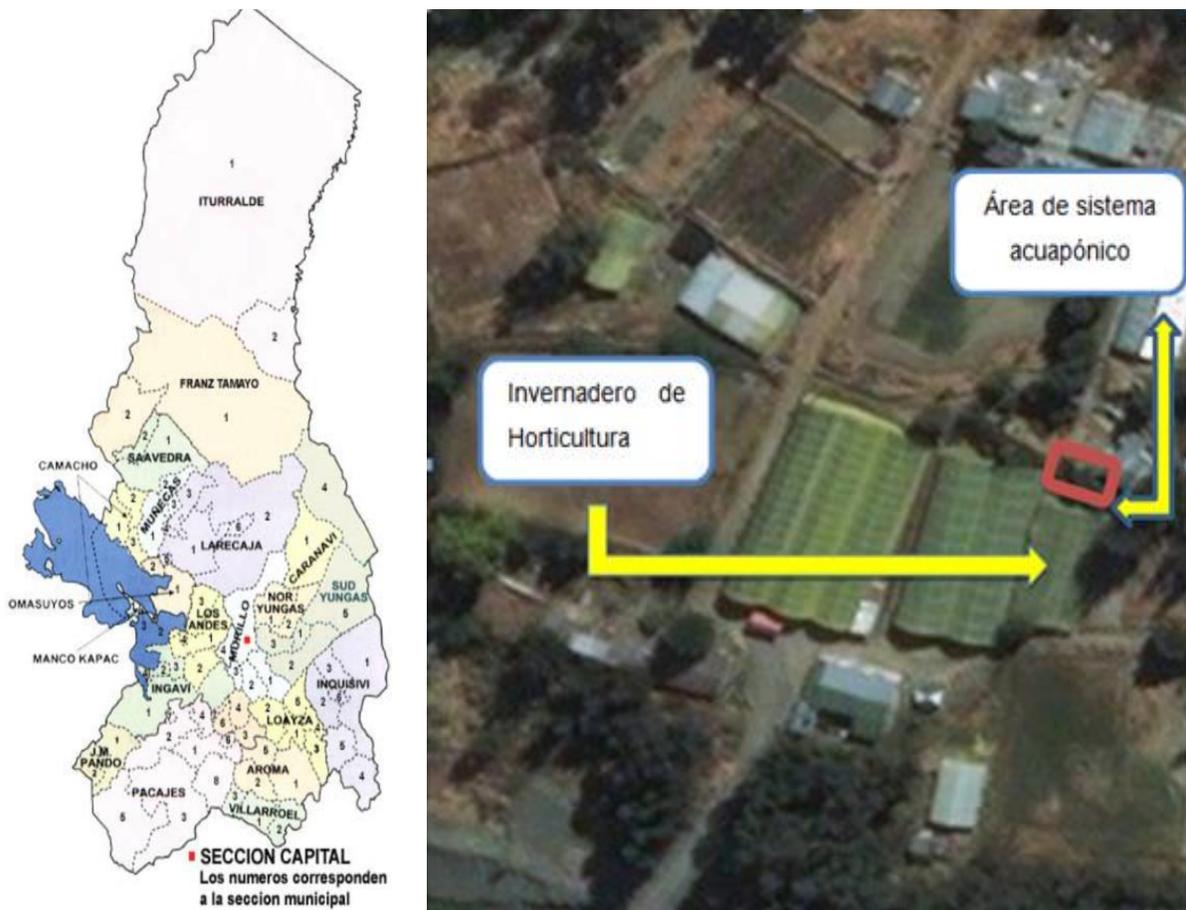
Fuente: (Jiménez, 2013).

3. LOCALIZACIÓN

3.2. Ubicación geográfica

Trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía (Universidad Mayor de San Andrés), este centro se ubica en la zona sur de la ciudad del departamento de La Paz Bolivia, con una altitud de 3445 m.s.n.m., 16°32'04" latitud S y 68°03'44" Longitud O. en el Centro Experimental de Cota Cota cuenta actualmente con cinco invernaderos, donde en el interior de estas hay producción hortícola, floricultura e hidroponía.

Figura 6. Ubicación de la investigación realizada



Fuente: (Colque V. 2017).

3.2.1. Características agroecológicas

3.2.2. Clima

La zona se caracteriza por ser seca durante gran parte del año, pues la estación de lluvias se concentra con altas precipitaciones en los meses de diciembre hasta, febrero, la precipitación anual de la zona está alrededor de los 488,53 mm y algunas veces superior de 500 a 600 mm anuales bajo diferentes formas y una humedad relativa de 46%. Las temperaturas máximas se registran en los meses de octubre y noviembre que alcanzan 21,5 °C, las temperaturas mínimas alcanzan su máximo valor en los meses de junio y julio llegando a registrar -0,6 °C, y una temperatura media de 11,5 °C. Los fuertes vientos se presentan en el mes de agosto como en todo el Departamento (SENAMHI, 2014).

3.2.3. Suelos

La comunidad presenta en las zonas de colina suelos muy superficiales, limitados por el contacto lítico, con muy poco desarrollo genético. Es de textura franco arenosa. Presenta grava, grava pequeña y regular materia orgánica. Los suelos de la planicie son más profundos (0.20 - 0.40 m) aptos para agricultura intensiva.

3.2.4. Vegetación y pecuaria

Está comprendida por arboles como ser Eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), Pinos (*Pinus sylvestris*), Ciprés (*Cupressus sempervirens*). Arbustos: Acacia (*Acacia melanoxyton*), Retama (*Retama sphaerocarpa*) y Chilca (*Baccharis latifolia*), entre otros. El Centro Experimental se dedica a la producción agrícola, pecuaria (ganado menor) y apícola. La producción agrícola se realiza a campo abierto mediante la rotación de cultivos y comprende: Maíz, Papa, Haba, Arveja, Cebolla, Betarraga entre otros. En ambiente protegido (Invernaderos) la producción es hortofrutícola: Frutilla, Pepinillo, Tomate, Lechuga y otros de acuerdo a los trabajos de investigación que se desarrollen. La producción pecuaria comprende la crianza y manejo de aves (Gallinas Ponedoras, Pollos de Engorde), Cuyes, Conejos y codornices.

4. MATERIALES Y METODOS

4.2. Material de campo

- Picota
- Plasto formó
- Taladro
- Llaves de plomería
- Cierra mecánica
- Alicata
- Destornillador
- Agro film
- Recipiente Plástico
- Graba
- Nylon negro
- Aireadores
- Fibra
- Ladrillo molido
- Cerámica
- Cinta Métrica
- Regla
- Vernier
- Marcador
- Martillo
- Pala
- Malla fina de 50 %
- Flexo metro
- Carretilla

4.3. Material para la construcción del sistema acuapónico

- 1 kilo de Clavos
- 2 tanques de agua con una capacidad de 1200 litros
- Un tanque de agua con una capacidad de 300 Litros.
- Una bomba de agua de 1 HP de potencia.
- Una hoja de esponja de 3 centímetros de espesor.
- 9 Hojas de plasto formó
- SERRUCHO
- Pintura
- Tubos PVC de 3 pulgadas
- 2 Llaves universales de 1 pulgada
- Llaves de ½ pulgada
- 20 codos de ½ pulgada
- Vigas de madera
- tubos de ¾ pulgada
- tubos de ½ pulgada

4.4. Material vegetal

El material vegetal que se utilizó en la presente investigación, fue una variedad de lechuga certificada *Lactuca sativa* (borde morado).

4.5. Material biológico

- Carpa plateada (*Cyprinus carpio*)
- Alimento para los peces
- Azul de metileno

4.6. Material de laboratorio

- Balanza analítica de seis kilos de capacidad.
- Vaso precipitado con una capacidad de 100 centímetros cúbicos.
- pH metro para la medición de la acides y de bases de la solución.
- Conductivimetro para medir la conductividad eléctrica.
- Agua destilada.

4.7. Material de gabinete

- Computadora
- Información secundaria
- Calculadora
- Hojas bond
- Bolígrafo
- Marcadores
- Regla
- lápiz

4.8. Metodología

4.8.1. Trabajo de campo

4.8.1.1. Instalación del sistema acuapónico

Para una adecuada realización del sistema, se adoptaron los sistemas propuestos por (Ebbeling et al., 1995), los cuales fueron modificados para este proyecto, que se consiste en:

- a) Instalación de los tanques para los peces

Los tanques de peces son un componente crucial en cada unidad. Como tal, los tanques de peces pueden representar hasta el 20 por ciento del costo total de una unidad acuapónica. Los peces requieren ciertas condiciones para sobrevivir y prosperar, y por lo tanto el tanque de peces debe ser elegido sabiamente. Hay varios aspectos importantes a considerar, incluyendo la forma, el material y el color. Es importante elegir un tanque que se adapte a las características de las especies acuáticas criadas porque muchas especies de peces prefieren la parte inferior del tanque y muestran un mejor crecimiento y menos estrés con un espacio horizontal adecuado (Carruthers, 2015).

Se realizó de acuerdo al croquis y diseño experimental planteado, se empleó dos tanques cada una de 1200 L para el alojamiento de los 16 peces de (etapa juvenil), 8 por cada estanque (Figura 7).

Dentro se colocó, un aireador de 900 L/min para proporcionar oxígeno a los peces, y una bomba de 1 hp conectada con un tubo de 1" de diámetro, que conducía el agua al sistema de cultivo y esta retornaba hacia los tanques de los peces.

Figura 7. Sistema acuapónico instalado



Fuente: (Colque V. 2017).

4.8.1.2. Preparación de los filtros biológicos

Los filtros consisten en algunos medios sólidos que sirven como una superficie sobre la cual las bacterias pueden adherirse y vivir (Hochheimer y Wheaton, 1998). El pez toma el alimento y convierte el nitrógeno de las proteínas en un desecho conocido como “nitrógeno amoniacal” el cual es tóxico a bajas concentraciones para los organismos acuáticos. Tanto el nitrógeno amoniacal como otros desechos que se generan en el cultivo de los peces, son utilizados por las bacterias y convertidos en nutrientes disponibles para las plantas, básicamente “nitratos”. Una vez formados los nitratos, las plantas los absorben a través de sus raíces y el agua vuelve nuevamente hacia las unidades de cultivo de los peces, y así el ciclo continuo indefinidamente. Para que los desechos generados por los peces fueran absorbidos por las raíces de las plantas, estas pasaron por un proceso llamado nitrificación.

Donde desempeña un papel importante de garantizar la conversión aerobia del amoníaco en el sistema en nitratos, convirtiendo el amoníaco (NH_3) en nitratos (NO_3)

y otros compuestos nitrogenados con la asistencia de *Nitrosoma* ssp y *Nitrobacter* ssp, que son útiles para las plantas. El Nitrosomomas convierte el amoniaco en nitritos en un ciclo de nitrificación consiste en la conversión de amoniaco (NH_3) a una amina o nitrito (NO_2) compuesta por el proceso de hidrolisis y el compuesto de amina se convierte entonces en nitrato (NO_3) por la oxidación.

4.8.1.3. Filtro mecánico

Fue construido en dos tanques cada una de 60 L, dentro de él se utilizaron materiales como (Perlón o fibra, esponja de 3 cm de grosor, las cuales se cortaron de acuerdo al diámetro del tanque), estos permitieron filtrar el agua reteniendo los residuos sólidos.

El agua filtrada por el filtro mecánico circula al biofiltro por gravedad, ya que juega el mismo papel que una rejilla, esto para retener el alimento desechado o no consumido por los peces.

4.8.1.4. Filtro biológico

Los filtros biológicos, se colocan a continuación de los mecánicos y se emplean con el objetivo de transformar biológicamente los desechos metabólicos generados por los peces. Fue construido en dos tanques cada una de 60 L, dentro de él se utilizó (ladrillo molido, bio bolas, cerámica o graba), cada material tuvo un espacio de 15 cm de graba y 10 de ladrillo molido luego se incorporó las bio bolas, ya que estas bacterias, requieren de una superficie de contacto donde alojarse en los espacios abiertos o porosos. Al biofiltro también se instaló un aireador de igual capacidad para proporcionar oxígeno a las bacterias cada tanque en la parte superior poseía un nylon negro donde esta evitaba la proliferación de algas y que la luz ingrese directamente ya que las bacterias son sensibles a la luz (Figura 8).

Figura 8. Armado e instalación de los biofiltros



Fuente: (Colque V. 2017).

A partir de ellos, se obtienen sustancias menos tóxicas que puedan permanecer en el sistema. Este proceso, se lleva a cabo por medio de las bacterias que crecen sobre el filtro, en presencia de los desechos metabólicos. En resumen, un filtro biológico es una estructura que posee en muy poco lugar, una gran superficie de contacto, donde con el tiempo, se alojan las bacterias necesarias para la filtración, y es aquí donde se tomó los datos de los parámetros físico químicos.

4.8.1.5. Instalación del canal de cultivo NFT (Técnica de la película de nutrientes).

a) Excavación para el tanque de 300 L

Se realizó la excavación con una profundidad de 1,5 m y un diámetro de 1,5 m donde también se instaló y se conectó la bomba de 1HP del sistema acuapónico y el sistema NFT. Anexo 1.

b) Nivelación del suelo para la infraestructura

Se realizó la nivelación para la ubicación de la infraestructura incorporando arena y tierra del lugar dejándolo a una pendiente de 2 %.

c) Nivelación del suelo para el sistema de retorno de agua

Se realizó la nivelación a una pendiente del 2% para facilitar el retorno del agua que viene del canal de cultivo. Anexo 2

d) Construcción de la pirámide de madera

Se armó una pirámide de madera de pino, con medidas: 1,80 m de largo, 5 cm de espesor y 8 cm de ancho, el cual sirvió como la base de la pirámide. Las maderas con pendiente midieron 2 m de largo, 5 cm de espesor y 8 cm de ancho. Las maderas fueron sujetadas por clavos en forma de "A" y cada triángulo estaba separado a 1 m. A la vez se le dio una pendiente del 2% con inclinación hacia los tubos de retorno, para que se facilite la circulación del agua. Anexo 3

e) Construcción de los canales de cultivo

Una vez verificada la pendiente de la pirámide, se pasó el colocado de los canales de cultivo con una distancia de separación de 20 cm cada canal y una pendiente de 2%, luego se atornillo con sujetadores hechos de barra de metal, dando el soporte adecuado. Se remacho con la remachadora parte de los sujetadores que ayudaban a la sujeción del canal. Los canales de cultivo fueron constituidos con 8 tubos de PVC de 3" y con un largo de 4 m, posteriormente fueron tapados con plasto formó de 1 cm de espesor, para los cobertores de los canales se abrieron orificios de 4 cm de diámetro para la planta, separados a una densidad de 15, 20 y 25 cm entre planta y planta. Los canales de cultivo en los dos extremos se taparon para evitar el derrame.

f) elaboración de la cobertura de los canales de riego

Se elaboró los cobertores de los canales con plasto formó, con medidas de 0,08 m X 1 m con un espesor de 1 cm, Luego se hicieron orificios redondos con un diámetro de 4 cm con ayuda de estiletes (Figura 9).

Figura 9. Canal de cultivo sistema NFT



Fuente: (Colque V. 2017).

g) Instalación del sistema de distribución

Se realizó la instalación del sistema de distribución, instalando el sistema de despache, verificando que no exista ningún escape de agua. Una vez ya colocado el sistema de despache se procedió a la instalación de los tubos departidores de la solución, colocando micro tubos de 6 mm de diámetro con sus respectivos emisores.

h) Instalación del sistema de retorno

Una vez ya nivelado, se procedió a la instalación del sistema de retorno con tubos de 4", utilizando un total de 2 barra de 4 m de largo, con 2 tubos T y 3 codos de 4", el colado se lo realizo con pegamento PVC, con pistola que generaba calor, facilitando el sellado fijo del sistema de retorno.

i) Bomba de agua

La bomba tiene una potencia de 1 HP, el tubo de la entrada de la solución fue instalado con un succionador inoxidable para evitar la entrada de impurezas que pueden afectar al buen funcionamiento de la bomba. También tiene tres llaves una para retorno directo al tanque y otra para el retorno hacia el tanque de los peces facilitando también en oxigenar el agua donde se encuentra los peces, y la otra fue para regular la distribución del agua.

4.8.1.6. Pendiente

De acuerdo a Resh (1987), en el sistema de NFT la pendiente debe tener entre 1,5% a 2,5%, dependiendo al tipo de cultivo y al largo de la carpa. El tránsito y circulación de la solución debe ser lo más favorable posible para obtener buenos rendimientos, no debe ser muy rápida pues afectaría en la asimilación rápida de nutrientes de las raíces; no debe de ser muy lenta pues provocaría el encharcamiento y precipitación de la solución, lo cual tendría como consecuencia la falta de oxigenación de las raíces y la presencia de enfermedades y algas en los cultivos.

4.8.1.7. Alimentación de los peces

La cantidad de alimento a suministrar diariamente a los peces se realizó considerando la relación del peso del pez. Castañon *et al.*, (2001), menciona que la cantidad debe ser el 5% del peso total de los peces.

Para calcular la cantidad de alimento se procedió a pesar y determinar el peso promedio de los peces en una fuente, este resultado fue multiplicado por el número total de peces que se tiene en el tanque.

Posteriormente mediante una regla de tres se calculó la cantidad de alimento que se proporcionó a los peces diariamente, de la siguiente manera, por ejemplo, para el alimento balanceado en un determinado momento se tomó:

4.8.1.8. Cálculo del alimento

Peso promedio de los peces = 110,44 g.

Nº total de peces en el tanque = 16 peces etapa juvenil

Mortalidad = ninguno

Peso total de peces = 1767 g.

Nivel de alimentación = 5%

$$\begin{array}{r} 1767 \text{ g.} \text{ -----} 100 \% \text{ del peso total de peces} \\ X \text{ -----} 5\% \text{ del peso total de peces} \\ X = 88,35 \text{ g.} \end{array}$$

Entonces el alimento que se proporcionó a los peces del tanque fue de 88,35 gramos. Esta cantidad calculada fue dividida en dos partes, es decir la alimentación se realizó de acuerdo a la frecuencia de alimentación: una mitad por la mañana y la otra por tarde.

4.8.1.9. Ganancia total de peso (GTP)

Martínez (1987), señala que esta variable mide el incremento en peso corporal y se expresa de la siguiente forma:

$$\text{GTP} = \text{peso final} - \text{peso inicial}$$

4.8.1.10. Preparación de sustrato para el Almacigo

El semillero se construyó de madera teniendo una forma de caja con una dimensión de 0,60 m de ancho por 1 m de largo luego se forro con agro film amarillo. Como sustrato para la germinación de las semillas se utilizó 40 % arena de río 30 % de turba y 30 % de tierra negra. Una vez contando con los sustratos libres de cualquier material inestable se lavó la arena fina de río, 8 enjuagues eliminando la tierra contenida. Luego esta mezcla se esparció homogéneamente en el semillero.

4.8.1.11. Desinfección del sustrato

Posteriormente se realizó la desinfección del sustrato inerte, para evitar la presencia de hongos, el primero de agosto del 2017 utilizando la pistola de calor para eliminar todo agente patógeno.

4.8.1.12. Siembra y riego

La siembra se realizó en la almaciguera el 12 de agosto del 2017, después de la desinfección se utilizó un clavo para abrir agujeros y una regla a una distancia de cinco centímetros, entre surcos y 0.5 cm de profundidad y la distancia entre semillas fue de 0.5 cm. La cantidad de semilla certificada que se utilizó es aproximadamente de 500 unidades de la variedad borde morada.

Después de realizar la siembra se efectuó el riego muy suave sobre el sustrato, se cubrió el almacigo con nylon negro para que la mezcla se mantuviera húmeda y oscura durante 3 días y luego se procedió a regar con agua potable durante los primeros 7 días las cuales emergieron un 90% de su totalidad. Posteriormente se regó el semillero con agua procedente de los estanques acuícolas que fue dos veces al día hasta su trasplante al sistema (NFT) (Figura 10).

Figura 10. Germinación de las plántulas de lechuga en el semillero



Fuente: (Colque V. 2017).

4.8.1.13. Trasplante de lechugas al sistema acuapónico

El trasplante se realizó a los 28 días de la siembra durante el ocaso, esto para que las plántulas no sufran de estrés por la deshidratación, se colocaron en esponjas de 3 cm de espesor donde antes se realizó un corte vertical atravesando la esponja de arriba abajo.

En estos cortes se colocaron las plantas provenientes de la bandeja para luego ser colocadas en los canales de cultivo de tubos PVC con las distancias de 15-20-25 cm entre plantas previo a eso se hicieron hoyos en el plasta formó que tenían una distancia de 20 cm de separación cada canal de cultivo como muestra la (Figura 11).

Figura 11. Trasplante de las lechugas a los canales de cultivo



Fuente: (Colque V. 2017).

4.8.1.14. Control del pH

El pH es un factor que interviene en varios procesos. El primero, es el mencionado con anterioridad, llamado nitrificación. Este puede ocurrir en un rango muy variado de pH como 6 a 9 (Wheaton et al., 1994) pero algunos autores sostienen que el rango óptimo se encuentra entre 7,2 a 7,8 (Rakocy, J. E., 1999).

(Rakocy, J. E., 1999). Interviene en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que nutrientes esenciales como el hierro, manganeso, cobre, zinc y boro, se encuentran menos disponibles para las plantas a pH mayores de 7,5; mientras que la solubilidad del fósforo, calcio y magnesio, disminuye con pH menor a 6. Por último, el pH debe ser adecuado para la especie de pez que se desee cultivar, siendo en general, valores dentro de un rango de 7 a 7,5, para todas las especies.

Mantener en nuestro sistema acuapónico un pH de 7 hará que el mismo funcione en forma correcta. No obstante, no se debe dejar de tener en cuenta que una precisa nitrificación, resultará en ácido carbónico, que hará que el sistema tienda a disminuir su pH. Normalmente, en sistemas de recirculación ello se resuelve añadiendo bicarbonato de sodio, pero en un sistema acuapónico, no debe ser utilizado. La acumulación de Sodio, combinado con la presencia de Cloro, es tóxica para las plantas (Resh, 1995 en Timmons, 2002).

El descenso de pH en sistemas acuapónicos puede ser subsanado con Hidróxido de Calcio, Hidróxido de Potasio, Carbonato de Calcio o Carbonato de Potasio, según la conveniencia del productor. El pH es ácido o básico de cómo está el agua. El pH nivel del agua tiene un impacto en la biológica actividad de las bacterias nitrificantes y su capacidad para convertir el amoníaco y el nitrito.

Los rangos para los dos grupos siguientes nitrificantes han sido identificados como ideales, sin embargo, la literatura en bacterias de crecimiento también sugiere un mucho mayor rango de tolerancia (6-8,5) debido a la capacidad de las bacterias se adapten a su entorno. (FAO 2014).

Al respecto (Clucas *et al.*, 1988), indica que el rango en el que se puede desarrollar este pez va de 6 a 9, pero establecen que el nivel óptimo de pH para la Carpa espejo (*Cyprinus carpio specularis*) es de 7,5 a 8, con un mínimo de 6,5 y un máximo de 9, valores fuera de este rango causarían problemas difíciles de subsanar.

Con respecto al manejo del pH, se tomó datos de los biofiltros donde se pudo apreciar que en el mes de septiembre el pH tubo un promedio de 7,7, octubre con 7,5 y finalmente noviembre que obtuvimos de 8,1. De acuerdo a los datos obtenidos en

campo y el autor (Rakocy, J. E., 1999) nos indica que si encuentra en el rango óptimo donde tuvo un comportamiento equilibrado, es decir que no hubo variaciones y se mantuvo constante entre 7 y 7,5 los primeros meses y al final de la investigación se obtuvo un pH de 8,1.

4.8.1.15. Control de la conductividad Eléctrica (CE)

Las mediciones de conductividad y/o salinidad, son comúnmente utilizadas para hidroponía, como medidas de los nutrientes disueltos, aunque estas no ofrecen una medida precisa de los niveles de nitratos. Debe considerarse de suma importancia la **toxicidad del Sodio** frente a los vegetales, por lo que se considera apropiada una conductividad, que no sobrepase los 1500 μ s/cm, o las 800 ppm de STD (como referencia, se detallan valores medios del agua marina: 50000 μ s/cm; o 35000 ppm).

La salinidad, cobra especial importancia a la hora de seleccionar la fuente de agua de abastecimiento al sistema, ya que necesitará una adición permanente de agua (entre el 1 y 3 % diario), debido a la absorción por parte de los vegetales, así como también las pérdidas por evaporación. Además, se deberá recambiar el agua en situaciones de emergencia ante faltas de energía, para evitar las mortalidades en los peces, o ante eventuales concentraciones de nitratos en niveles que excedan los límites de tolerancia, o los prefijados como límites por el productor.

Con respecto al manejo de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, fue de 584, con una temperatura de 11 °C datos que fueron tomados del análisis de agua que se obtuvieron de los biofiltros.

4.8.1.16. Análisis químico del agua

El análisis químico de agua se realizó en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), UMSA – Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Instituto de Ecología y los resultados fueron los siguientes Anexo 15.

4.8.1.17. Toma de datos

El 15 de septiembre se realizó el trasplante al sistema NFT, y se seleccionó 5 muestras al azar de la parte central de cada unidad experimental de acuerdo a la densidad de siembra, de las cuales se registraron, las respectivas medidas consideradas en las variables de respuesta que fueron planteadas al inicio (Figura 12).

Figura 12. Toma de datos de las plantas muestreadas al azar



Fuente: (Colque V. 2017).

4.8.1.18. Labores culturales

Las labores que se realizaron en la investigación fueron las siguientes:

4.8.1.19. Refalle

Esta práctica se realizó con el objetivo de reponer aquellas plántulas que no llegaron a prender al realizar el trasplante al sistema NFT, utilizando las plántulas de pasillo de la fase inicial de crecimiento.

4.8.1.20. Prevención fitosanitaria

Se realizó la observación cada 5 días hoja por hoja la presencia de alguna plaga o enfermedad en la cual no se llegó a manifestar ninguna.

4.8.1.21. Cosecha

La cosecha se realizó a los 96 días después de la siembra, cuando las plantas tenían ya un tamaño comercial estimado, se hizo la respectiva toma de datos tanto de peso de cosecha sin las partes desechadas. (Figura N° 13).

Figura 13. Cosecha de la lechuga



Fuente: (Colque V. 2017).

4.8.1.22. Post cosecha

Luego de la cosecha, manualmente se embolsaron en bolsas de la Facultad de Agronomía donde se introdujeron de 7 a 13 lechugas por bolsa de (250 g aproximadamente) y se procedió a la venta en la tienda biomarket en la misma facultad.

4.8.2. Manejo de temperatura

4.8.2.1. Temperatura del invernadero

Se registraron datos de temperatura cada día considerando máximas, mínimas. De tal manera se pudo observar que las temperaturas en el interior de la carpa fueron diferentes a comparación de la parte externa de la carpa, alcanzando una máxima de 32 °C principios de septiembre una mínima de 19 °C. Sin embargo, las temperaturas para mediados de noviembre tuvieron una mínima de 18 °C y una máxima de 32 °C,

considerando que el cultivo de lechuga no es tolerante a temperaturas por encima de los 30 °C. Realizando una comparación con la parte externa de la carpa las temperaturas descendieran en la parte externa alcanzando una máxima de 32 °C, lo cual indica que se concentra más calor en la parte interna de la carpa en horas de radiación fuerte.

4.8.2.2. Registro de temperatura del tanque de los peces

Para el registro diario de temperatura del estanque de los peces, se utilizó un termómetro donde se realizó la lectura dos veces al día 10:00 am y 15:00 pm con el fin de conocer la influencia de estos parámetros en el desarrollo de los peces. Los datos de temperatura que se tomaron durante el desarrollo de los peces en el tanque fueron homogéneos, el promedio es de 7,38 °C a las 10 am y 10,41 °C a las 3 pm.

4.8.3. Diseño Experimental

El presente trabajo de investigación se evaluó utilizando un diseño experimental de cuadrado latino (DCL) producción hidropónica con 3 tratamientos y 3 repeticiones, en un invernadero de la materia de horticultura. Es proporcionado por (Arteaga, Y. 2003).

4.8.4. El modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \theta_k + \alpha_i + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = una observación cualquiera

μ = media poblacional

β_j = efecto del j-ésimo 1,2,3, Columna

θ_k = efecto del k -ésima 1, 2, 3, 4, 5,6, Fila

α_i = efecto del i -ésimo D1,D2,D3, Tratamiento

ϵ_{ijk} = error experimental

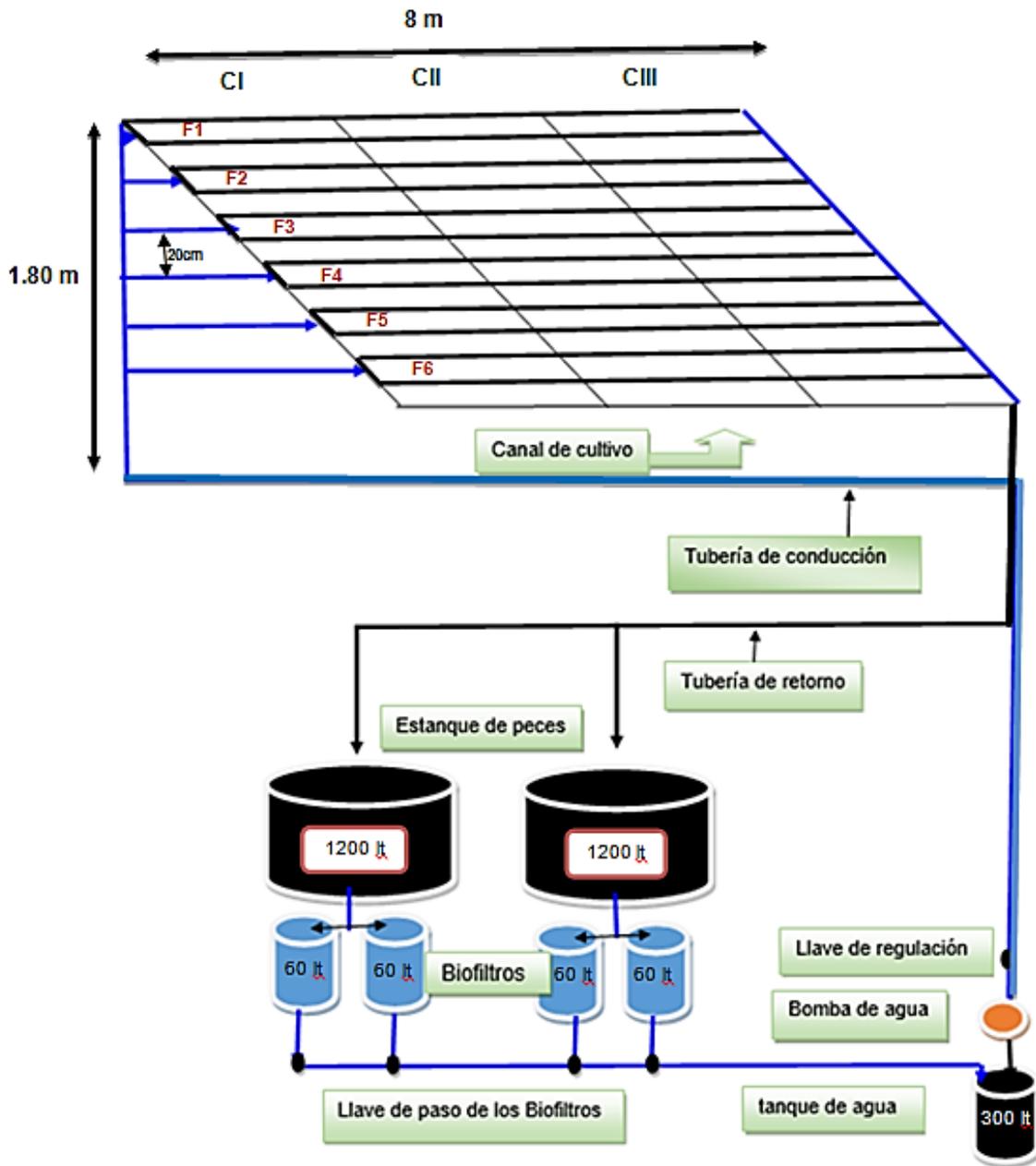
Los datos que se obtuvieron en el campo se ordenaron y se sistematizaron para realizar el análisis estadístico de acuerdo al diseño, se realizó un análisis de varianza (ANVA) para probar la significancia del efecto fijo.

Los resultados de las variables de respuesta fueron procesados por el paquete estadístico SAS. Para el análisis y discusiones e interpretación esto con el fin de alcanzar los objetivos planteados y poder llegar a la conclusión del trabajo de investigación.

4.8.4.1. Croquis del área experimental del tratamiento

Las características del área experimental como la distribución de los tratamientos se muestran en la (Figura 14).

Figura 14. Descripción del sistema acuapónico



Fuente: (Colque V. 2017).

4.8.5. Variables de respuesta

4.8.5.1. Porcentaje de sobrevivencia

Se observaron el porcentaje de sobrevivencia del cultivo de la lechuga después de la siembra al trasplante en el canal de cultivo, estos datos fueron tomados cada 5 días hasta la tercera semana. El total fue de 243 plantas de lechuga más 40 plantas en el pasillo esto fue con el fin de reemplazar las que no llegaron a prender.

4.8.5.2. Número de días de la cuarta hoja

Se realizó el trasplante cuando se tenía la tercera hoja, y se verificó el tiempo donde se formó la cuarta hoja ya en el sistema NFT. Donde posteriormente se tomaron los datos correspondientes desde la siembra hasta llegar a la cuarta hoja en todos los tratamientos.

4.8.5.3. Número de hojas

Se procedió un conteo directo de las hojas libres, de cada planta desde la primera hoja con desarrollo completo a excepción de aquellas que recién emergían de la roseta después de 10 días de la siembra hasta los 96 días o coincidiendo con la cosecha

4.8.5.4. Diámetro de tallo

Para la medición de esta variable se consideró el tallo de la base de las hojas y la raíz utilizando para dicho fin el vernier.

4.8.5.5. Días de la cosecha

Se determinó el número de días desde la siembra hasta la cosecha del cultivo.

4.8.5.6. Volumen de la raíz

Este dato se obtuvo al final de la cosecha, utilizando un vaso precipitado con un volumen de agua conocido y se sumergió toda la raíz de la muestra y se obtuvo este dato restando el volumen conocido al volumen total.

$$\text{Volumen Total} = \text{Vol. De Agua Conocido} + \text{Vol. Radicular}$$

$$\text{Vol. Radicular} = \text{Vol. Total} - \text{Vol. De Agua Conocido}$$

4.8.5.7. Rendimiento en peso fresco

Los valores obtenidos de cada planta se expresaron en gramos después de la cosecha, se procedió al pesado correspondiente de la planta y por tratamiento, donde se utilizó una balanza, posteriormente estos datos se tabularon para sacar el promedio de peso fresco por cada tratamiento.

4.8.5.8. Análisis Económico Preliminar

La evaluación económica preliminar se realizó según la metodología propuesta por CIMMYT (1988), que recomienda el análisis de beneficios netos y el cálculo de la tasa de retorno marginal de los tratamientos alternativos, para obtener los beneficios y costos marginales. Los rendimientos se ajustaron al menos 10% por efecto del nivel de manejo, puesto que el experimento estuvo sujeto a cuidados y seguimientos que normalmente no se dan en condiciones de producción comercial.

a) Beneficio bruto (BB)

Es llamado también ingreso bruto, es el rendimiento ajustado, multiplicado por el precio del producto (CIMMYT, 1988).

$$\text{BB} = R \times \text{PP (Ecuación)}$$

Dónde:

BB = Beneficio Bruto (Bs)

R = Rendimiento Ajustado (Bs)

PP = Precio del producto (Bs)

b) Costos Variables (CV)

Es la suma que varía de una alternativa a otra, relacionados con los insumos, mano de obra, maquinaria utilizados en cada tratamiento, fertilizantes, insecticidas, uso de maquinaria, jornales y transporte (CIMMYT, 1988).

c) Costos Fijos

Los costos fijos son aquellos costos que se mantienen para cada campaña de producción y que no están relacionados con la producción final. El costo fijo no se aumenta o disminuye la producción.

d) Costos Totales

Es la suma del costo total variable más el costo total fijo. Se suman estos dos costos para conocer cuánto de dinero se utilizó en total en un ciclo de producción de lechuga acuapónica.

e) Beneficio Neto (BN)

Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción (BB), menos los costos de producción (CP).

$$BN = BB - CP \text{ (Ecuación 2)}$$

Dónde:

BN = Beneficios Netos (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de producción (Bs)

f) Relación Beneficio / costo (B/C)

La relación de beneficio/costo, es la comparación sistemática entre el beneficio o resultado de una actividad y el costo de realizar esa actividad.

El análisis beneficio – costo permite formular y evaluar proyectos relacionándolos y plantear una propuesta, cuantificándola en términos monetarios, sociales, directos o indirectos con la finalidad de que los beneficios sean mayores a los costos (Harvard Business Press, 2007).

$$B/C = BB/CP \text{ (Ecuación 3)}$$

Dónde:

B/C = Beneficio Costo (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de Producción (Bs)

Cuando:

(B/C) > 1 Aceptable

(B/C) = 1 Razonable

(B/C) < 1 Rechazado

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

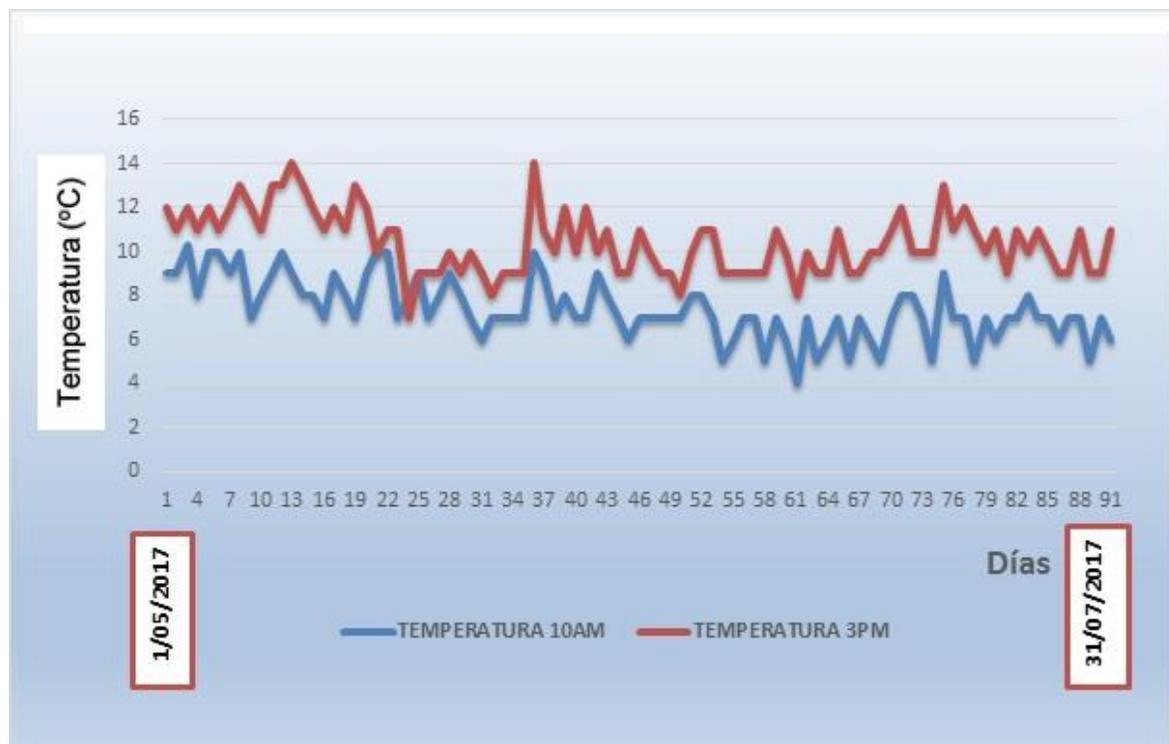
5.2. Fluctuaciones de temperatura del tanque de los peces

En el presente trabajo de investigación se tomaron los datos de temperatura del tanque donde se encontraba los peces entre las 10 am y 3 pm, en donde se promedió ambas temperaturas para fluctuación.

5.2.1. Fluctuaciones de temperatura promedio

Los datos de temperatura que se tomaron durante el desarrollo de los peces en el tanque donde fueron homogéneos, el promedio fue de 7,38 °C a las 10 am y 10,41 °C a las 3 pm. Según (Chatterjee et al. 2004; Aston 1981. En Timmons et al. 2007) sobre la temperatura mencionan: tolerancia 8° a 39 °C, óptimo 25° a 30 °C como muestra la (Figura 15).

Figura 15. Fluctuaciones de temperatura promedio del tanque



Fuente: (Elaboración propia, 2017).

La figura 15 indica que la temperatura está dentro del límite de tolerancia de la especie (*Cyprinus carpio*).

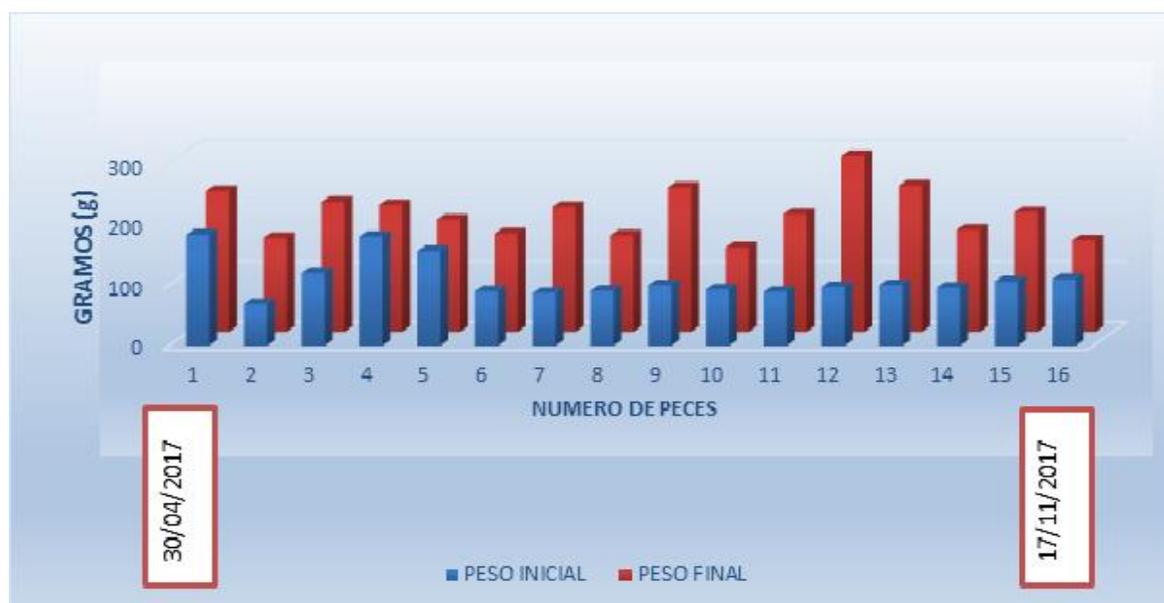
5.3. Registro de peso de los peces

Martínez (1987), señala que esta variable mide el incremento en peso corporal y se expresa de la siguiente forma:

$$\text{GTP} = \text{peso final} - \text{peso inicial}$$

En la (Figura 16) se puede observar que a inicio de la evaluación los peces de etapa juveniles fueron alimentados con alimento balanceado que fue “ración de pellets” y se les administro de acuerdo al peso total obtenido de los 16 peces, que fue de 1767 gramos, entonces el alimento que se proporcionó a inicio a los peces fue de 88,35 gramos. Esta cantidad calculada fue dividida en dos partes, es decir la alimentación se realizó de acuerdo a la frecuencia de alimentación: una por la mañana y la otra por la tarde. Esta prueba duro aproximadamente 7 meses (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre). Donde obtuvieron un peso final de 3140 gramos.

Figura 16 Peso de los peces



Fuente: (Elaboración propia, 2017).

5.4. Requerimientos nutricionales de la carpa

Martínez (2005), señala que en los alimentos balanceados los porcentajes de proteínas que se requieren son: de 30 a 40% para alevines y juveniles, y finalmente de 28 a 32% para adultos y reproductores.

5.5. Variables de respuesta

5.5.1. Porcentaje de supervivencia

El proceso del trasplante de las plantas, especialmente el cultivo de la lechuga es una operación muy importante que determina la supervivencia en un mayor porcentaje.

En ello interviene el tiempo del trasplante al sistema, normalmente se realiza en horas de la mañana esto para que las plantas no lleguen a estresarse y puedan adaptarse al sistema, cuidando especialmente en no introducir la plántula con la raíz torcida, tampoco por encima ni por muy debajo del cuello de la plántula.

La densidad (D3) tiene el porcentaje de supervivencia más alto con un 95%, valor aceptable.

El porcentaje de supervivencia se determinó contando el total de plantas que se adaptaron al sistema a los 7 días hasta la tercera semana del trasplante al sistema NFT, estos datos se muestran en la siguiente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza para el porcentaje de supervivencia del cultivo

Fuente de Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Pr > F
Columna (Luminosidad)	2	162,88	81,44	26,18	0,0368 *
Fila (Temperatura)	2	17,55	8,77	2,82	0,2617 NS
Distancia entre plantas	2	242,88	121,44	39,04	0,0250 *
Error	2	6,22	3,11		
Total	8	429,55			

Fuente: (Elaboración propia, 2017). C. V. = 1,95 % (NS no significativo) (* significativo).

Cuadro 8, muestra el análisis estadístico para la variable porcentaje de supervivencia se presenta diferencia significativa entre columna (luminosidad).

El grado de significancia entre columnas nos muestra que existía la variación a favor de la luminosidad, esto indica que favoreció a la supervivencia del cultivo de lechugas en el momento del trasplante al sistema NFT.

Para la fila (temperatura) no es significativo esto nos determina que en la variable porcentaje de supervivencia actuó independientemente de la temperatura.

Se han encontrado diferencias significativas entre distancias, lo que significa que en el variable porcentaje de supervivencia existen diferencias en cada densidad de siembra, donde el tamaño de la planta al momento del trasplante es de vital importancia para obtener un mayor porcentaje de supervivencia.

La densidad que más plantas sobrevivieron fue la (D3) con un promedio de 95% seguido de la densidad (D2) con 93% y por último la densidad (D1) con un promedio de 83%.

El coeficiente de variación es de 1,95 % indicando que los datos obtenidos del análisis estadístico son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad; además indica que hubo un buen planteamiento y manejo experimental.

Cuadro 9. Análisis estadístico Duncan de las densidades de siembra con respecto a la supervivencia del cultivo

Duncan	Media	DENSIDAD
a	95.000	D3
a	92.667	D2
a	83.000	D1

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

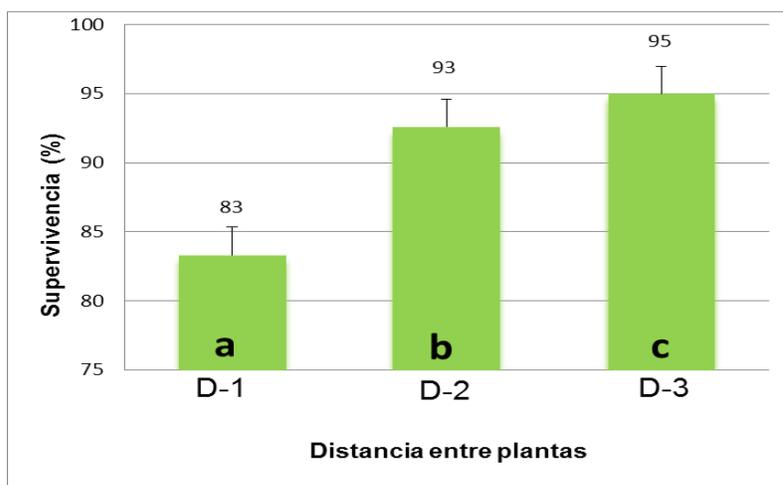
Según la comparación de medias Duncan que se detalla en el cuadro 9, la mejor densidad de trasplante fue la D3 (25 cm x 25 cm), con un promedio de 95% de

supervivencia, seguida de la D2 (20 cm x 20 cm), con un promedio de 93% y por último la D1 (15 cm x 15 cm), con un promedio de 83%.

5.5.1.1. Comparación de medias para el porcentaje de supervivencia

En la Figura 17, se comparan las medias de los tratamientos de las tres densidades de siembra en un sistema acuapónico.

Figura 17. Porcentaje de supervivencia



Fuente: (Elaboración propia, 2017)

Como se observa en la (figura 17), la densidad que más plantas obtuvieron fue la (D3) con un promedio de 95% seguido de la densidad (D2) con 93% y por último la densidad (D1) con un promedio de 83% de supervivencia.

La densidad que obtuvo mayor supervivencia fue la densidad (D3), esto significa que se puede realizar una siembra de lechuga a una densidad de 25 cm, por que obtuvo un mayor rendimiento. En cambio, el menor porcentaje de supervivencia se presentó en la densidad (D1) que fue de 15 cm

El tamaño de la planta pudo afectar al realizar el trasplante y esto causó que no se llegue a adaptar con facilidad al sistema. Por lo cual se afirma que el tamaño de la planta en el momento del trasplante es de vital importancia para obtener un mayor porcentaje de sobrevivencia al sistema.

La mala manipulación de las plantas al momento del trasplante pudo haber afectado de gran manera en el porcentaje de supervivencia, ya que al momento de trasplantar al área de crecimiento (NFT) muchas de sus raíces se maltrataron provocando así su posterior muerte.

5.5.2. Número de días a la cuarta hoja de lechuga

El número días a la cuarta hoja del cultivo de lechuga de la variedad borde morada se observa. También se puede decir que la variedad borde morado permaneció 22 días en el almacigo para luego ser trasplantada al lugar definitivo al sistema NFT muchas de ellas se trasplantaron cuando tenía tres hojas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza para el número de días a la cuarta hoja

Fuente de Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Pr > F
Columna (Luminosidad)	2	3,55	1,78	0,57	0,6364 NS
Fila (Temperatura)	2	22,22	11,11	3,57	0,2188 NS
Distancia entre plantas	2	4,22	2,11	0,68	0,5957 NS
Error	2	6,22	3,11		
Total	8	36,22			

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

C. V. = 3,88 %

(NS no significativo)

En el (Cuadro10), muestra el análisis de varianza que el factor de tipos de distancias, no es significativo en el cultivo de lechuga esto nos determina que no actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación fue de 3,88 % lo cual indica que se encuentra dentro del rango aceptable, donde nos indica que los datos fueron tomados cuidadosamente y son confiables para el análisis estadístico.

Se asevera que los árboles cercanos al invernadero dieron sombra en una parte de la pirámide, esto afecto de cierta manera en el desarrollo de las hojas, por lo tanto, el fotoperiodo es muy importante para la obtención de números de hojas por planta.

5.5.3. Número de hojas

En el cuadro 11, se detalla los resultados del análisis de varianza para el número de hojas en diferentes densidades de siembra al trasplante del cultivo de lechuga.

El análisis de varianza pertinente a la prueba estadística, indica con un grado de valides interna es aceptable, al 5 y 1 por ciento (%) de significancia, en este sentido la densidad (D3) y (D2) presenta mayor número de hojas de menor tamaño a diferencia de la densidad (D1) con número de hojas de mayor tamaño, lo que se traduce en mayor peso foliar.

El análisis de varianza para el número de hojas a la cosecha se muestra en el (Cuadro 11), donde se observa que no existe diferencia significativa entre las distancias de acuerdo al número de hojas.

Por su parte Huerres y Carballo (1991), señalan que, temperaturas en el orden de los 22°C y una elevada iluminación, promueve el incremento en el número de hojas.

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable número de hojas

Fuente de Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Pr > F
Columna (Luminosidad)	2	4,22	2,11	19,00	0,0500 NS
Fila (Temperatura)	2	0,22	0,11	1,00	0,5000 NS
Distancia entre plantas	2	0,88	0,44	4,00	0,2000 NS
Error	2	0,22	0,11		
Total	8	5,55			

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

C. V. = 3.09 %

(NS no significativo)

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que la columna, el resultado no fue significativo, esto indica que la luminosidad no tuvo efecto directo en el número de hojas del cultivo.

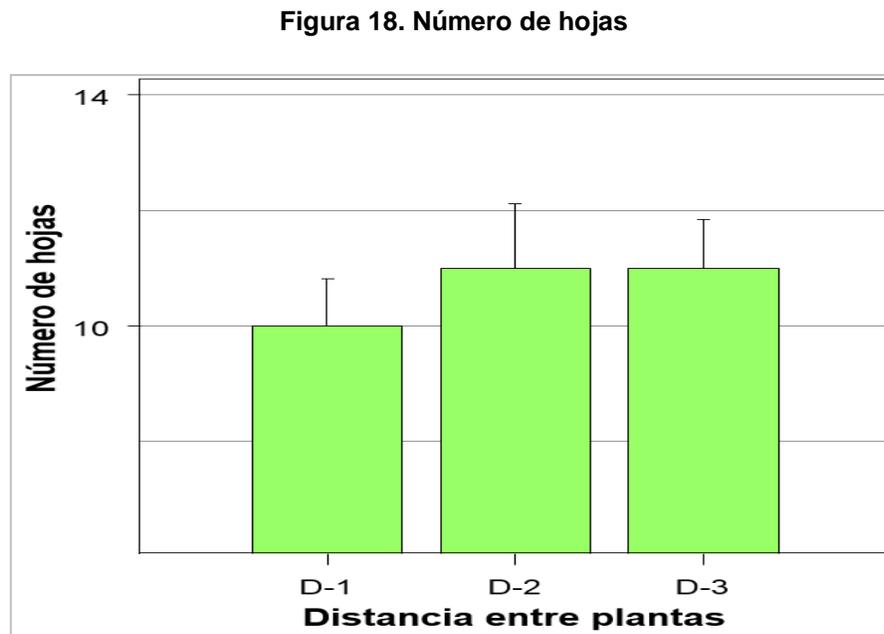
Para las filas se obtuvo un resultado no significativo, esto indica que la temperatura no tuvo un efecto directo para obtener mayor o menor número de hojas del cultivo.

Con respecto a la densidad de siembra dio como resultado no significativo, lo que indica que las densidades no tuvieron un efecto directo en el incremento de número de hojas del cultivo.

El coeficiente de variación fue de 3,09 (%) lo cual indica que está dentro del rango aceptable, en lo cual los datos fueron tomados cuidadosamente y son confiables para el análisis estadístico.

5.5.3.1. Comparación de medias para el número de hojas

(Figura 18), se detalla cual fue el comportamiento de las densidades para el número de hojas promedio por planta.



Fuente: (Elaboración propia, 2017).

Según la comparación de medias que se muestra en la figura 19, se observa que no influye la densidad de siembra en el incremento de número de hojas, que sin importar la densidad que se utilice el número de hojas no cambiara notoriamente

La Figura 18, muestra que la densidad (D3) tuvo un mayor número de hojas de 11 a 12 hojas/planta, seguido por la densidad (D2) que obtuvo 10 hojas/ planta y por último la densidad (D1) con 9 hojas/planta.

El mejor tratamiento que obtuvo mayor número de hojas fue la densidad (D3) y (D2) que fueron las más cercanas seguido por la densidad (D1). Esto se asevera a que las plantas cercanas hacia la ventada tuvieron más intensidad de luz que la otra parte donde se encontraba los árboles, donde daban sombra, dificultando la entrada directa de la luz.

La sombra generada de los árboles, afecto de cierta manera en el crecimiento de las hojas, por lo cual el fotoperiodo es necesario para la obtención de un número mayor de hojas por planta.

5.5.4. Diámetro de tallo (mm)

De acuerdo al análisis de varianza, se llegó a determinar para las columnas, se obtuvo de resultado no significativo, esto indica que el fotoperiodo no tuvo efecto directo en para obtener un aumento en diámetro de tallo.

Para las filas se llegó a determinar que el resultado fue no significativo, esto indica que la temperatura no tuvo efecto directo en el aumento de diámetro del tallo.

Con respecto a la densidad de siembra dio como resultado no significativo indica nuevamente que en las densidades no tuvieron un efecto directo en el aumento de diámetro de tallo.

En el (Cuadro 12). Nos muestra los resultados del diámetro de cuello o base de tallo para cada densidad, encontrándose que el mayor diámetro de cuello fue para la densidad (D2) con 6,63 cm seguido muy de cerca por la densidad (D3) con 6,38 cm y por último la densidad (D1) con 5,50 cm. Observándose que existe una similitud en los resultados. El promedio de diámetro de tallo de la variedad de lechuga bajo el efecto de agua de los peces se resume en el siguiente.

De acuerdo a los tratamientos con mayor diámetro de tallo fueron la densidad (D2) y la densidad (D3) con 6,63 y 6,38 cm respectivamente. Las cuales mostraron mayores diámetros de tallo en el sistema NFT en la solución del agua de los peces.

El coeficiente de variación es de 12 52 % indica la confiabilidad de la información obtenida en campo, por lo tanto, existió un buen manejo de las unidades experimentales.

Cuadro 12. Analisis de varianza para diámetro de tallo

Fuente de Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Pr > F
Columna (Luminosidad)	2	0,38	0,19	0,32	0,7583 NS
Fila (Temperatura)	2	0,02	0,01	0,02	0,9799 NS
Distancia entre plantas	2	2,11	1,05	1,77	0,3612 NS
Error	2	1,19	0,60		
Total	8	3,70			

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

C. V. = 12.52 %

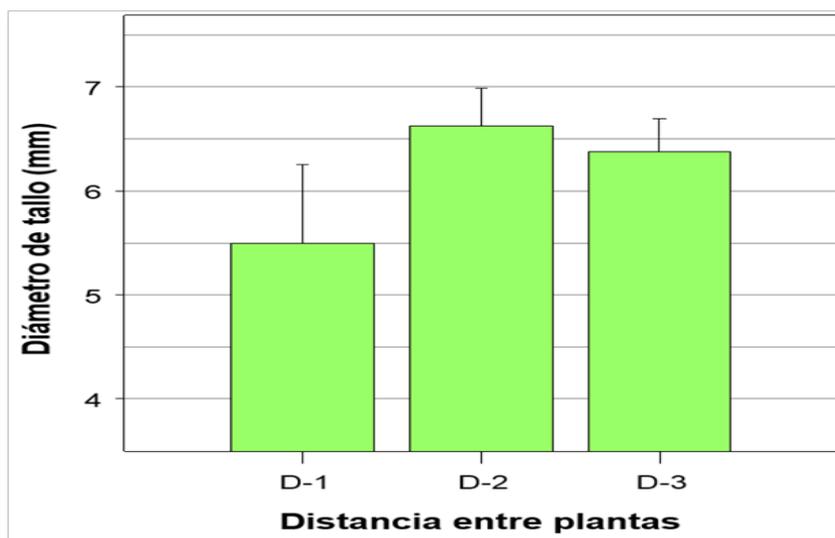
(NS no significativo)

En el (Cuadro 12) de la comparación de media de diámetros de tallo por efecto del agua de los peces muestra con mayor diámetro de tallo 6,63 cm que fue la distancia (D2) no se detectaron diferencias significativas entre las distancias de siembra.

5.5.4.1. Comparación de medias para el diámetro de tallo.

En la (Figura 19), se comparan las medias de las tres densidades de siembra en el sistema NFT.

Figura 19. Diámetro de tallo del



Fuente: (Elaboración propia, 2017).

Según la comparación de medias que se muestra en la figura 19, se observa que no influyen las densidades de siembra en el diámetro de tallo, que sin importar la densidad que se implemente no cambiara notoriamente.

Este comportamiento puede deberse a que si bien factores como la temperatura e intensidad lumínica existentes en las densidades de cultivo, en forma independiente o en su acción conjunta, promueven un proceso de acogollado inadecuado de acuerdo a Valadez (1993), llegaron a ejercer poca influencia en la expansión de la parte exterior.

5.5.5. Días a la cosecha

En el (Cuadro 13), se observa los días de desarrollo desde la siembra hasta a la cosecha, donde las tres densidades tuvieron el mismo día de siembra, trasplante y cosecha, como también tuvieron las mismas condiciones ambientales.

Se realizó lo anterior para saber cuál de estas densidades se adecua mejor al sistema y cual presento mejores resultados en cuanto a la producción.

Cuadro 13. Ciclo de producción del cultivo de lechuga

Variedad	Fecha de siembra	Fecha de emergencia	Fecha de trasplante	Fecha de cosecha	Días a la cosecha
Borde morado	12/08/2017	16/08/17	15/09/17	15/11/17	96
Días	1	4	33	58	96

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

En base a los datos obtenidos en el trabajo de campo se evaluaron cada siete días, durante todo su desarrollo. Debido en parte a una similar en el crecimiento y desarrollo de parámetros en el punto de madures comercial, frente a factores como temperatura e intensidad lumínica.

5.5.6. Volumen radicular

Para una mejor evaluación del volumen radicular del cultivo de lechuga por los tipos de densidades de siembra, se realizó el análisis de varianza esto se detalla en el siguiente (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza del volumen radicular

Fuente de Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Pr > F
Columna (Luminosidad)	2	6,00	3,00	0,43	0,7000 NS
Fila (Temperatura)	2	14,00	7,00	1,00	0,5000 NS
Distancia entre plantas	2	150,00	75,00	10,71	0,0854 NS
Error	2	14,00	7,00		
Total	8	184,00			

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

C. V. = 14.97 %

(NS. no significativo)

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que en las columnas no hubo significancia, lo cual explica que el fotoperiodo no tuvo un efecto directo en el crecimiento radicular.

Para las filas no hubo significancia, lo cual también indica que no influyo las temperaturas en el crecimiento radicular.

A sí mismo en las densidades de siembra no dio significancia como resultado, lo que indica que las densidades no tuvieron un efecto directo en el crecimiento radicular.

El coeficiente de variación es de 14,97% nos muestra la confianza de nuestra información por lo tanto existió un buen manejo de nuestras unidades experimentales.

Cuadro 15. Análisis estadístico Duncan de las densidades para el volumen radicular del cultivo de lechuga

Densidad	Promedio (cm)	Desviación Estándar	Duncan
D1	12,67	4,04	a
D2	17,67	4,51	a
D3	22,33	5,13	b

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

Según la comparación de medias Duncan que se detalla en el cuadro 13, la mejor densidad de trasplante fue la D3 (25 cm x 25 cm), con un aproximado de 22,33 ml de volumen radicular, y las que menores volúmenes alcanzaron fueron la D2 (20 cm x 20 cm), D1 (15 cm x 15 cm), que alcanzaron un promedio de 17,67 ml, 12,67 ml de volumen radicular, resultando ser la mejor D3 que logro un promedio más alto.

5.5.6.1. Comparación de medias para el volumen radicular

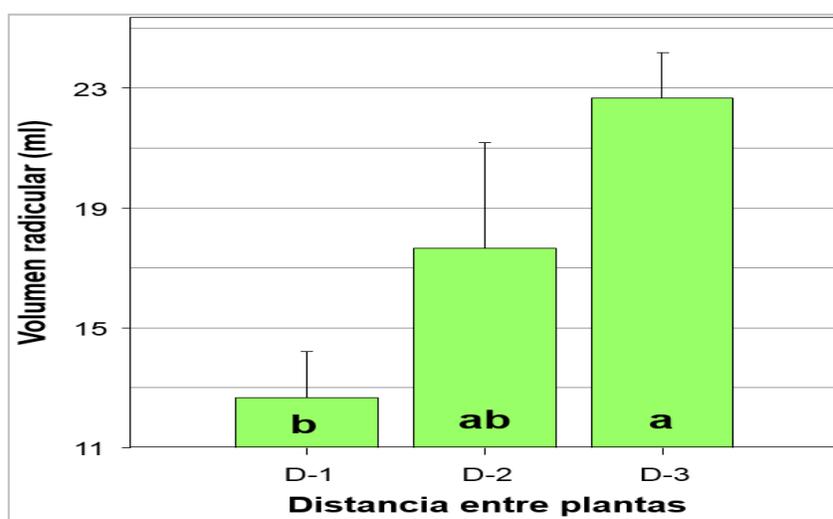
En la (Figura 20), se comparan las medias de los tratamientos de las tres densidades de siembra.

Según Rivera (2015), quien investigo la evaluación de tres variedades de lechuga cultivadas con la técnica de hidropónica de flujo laminar de nutrientes, afirma la

evidencia que a mayor dificultad de circulación de la solución nutritiva por el sistema hidropónico NFT el volumen radicular se dificulta en su masa, puesto que la solución circula a 2 litros por minuto, teniendo como resultado la falta de oxigenación de la raíz. Se sospecha que la falta de aprovechamiento de los nutrientes afecto en el incremento de la masa radicular, ya que existió dificultad en la circulación del agua.

En la (Figura 20), se detalla gráficamente el comportamiento de las densidades para volumen radicular.

Figura 20. Volumen radicular del cultivo de lechuga



Fuente:(Elaboración propia, 2017).

Se pudo evidenciar que a mayor volumen radicular se dificulta la libre circulación de la solución de agua de los peces por el sistema NFT, puesto que la solución circula a 2,70 litros por minuto. En el canal de cultivo de la densidad (D3) hubo mayor cantidad de rebalses, esto por su gran volumen radicular.

La mejor densidad que obtuvo menor volumen radicular fue la densidad (D1) de 15cm seguido por la densidad (D2) 20cm y por último la densidad con mayor volumen radicular fue la densidad (D3) con 25cm de siembra entre plantas.

5.5.7. Peso fresco de la planta

El análisis estadístico para la variable peso (g/planta), se lo presenta en el (Cuadro 16). Presentaron diferencias estadística significativa ($p > 0.0399$) que indica un efecto diferencial de las distancias entre plantas de lechuga en el peso.

El coeficiente de variación fue de 5.68 %, el cual se encuentra en el rango permisible para este tipo de experimentos.

Cuadro 16. Análisis de varianza de la variable peso fresco (g/planta)

Fuente de Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Pr > F
Columna (Luminosidad)	2	68,03	34,01	16,89	0,0559 NS
Fila (Temperatura)	2	10,64	5,32	2,64	0,2745 NS
Distancia entre plantas	2	96,83	48,41	24,05	0,0399 *
Error	2	4,03	2,01		
Total	8	179,52			

Fuente: (Elaboración propia, 2017) C. V. = 5.68 % (NS. no significativo) (* significativo)

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que en la columna, el resultado fue no significativo, esto indica que el fotoperiodo no tuvo un efecto directo el peso fresco de la planta.

Para columnas se obtuvo en resultado no significativo, indica que la temperatura no tuvo un efecto directo en el peso de la planta.

Con respecto a densidades de siembra dio como resultado significativo, lo que indica que las densidades tuvieron un efecto directo en el peso fresco de la planta.

Cuadro 17. Comparación Duncan entre densidades para el peso de la planta completa del cultivo de lechuga

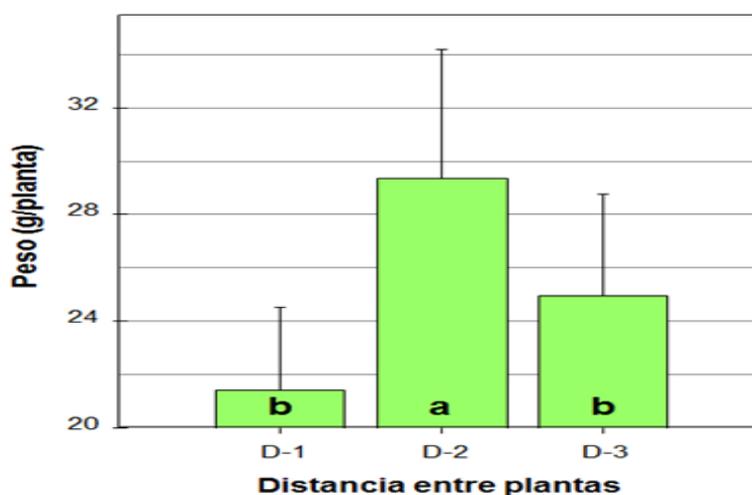
Densidad	Promedio (cm)	Desviación Estándar	Duncan
D1	21,40	3,12	a
D2	29,33	4,88	b
D3	27,93	8,85	b

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

Según la comparación de medias Duncan que se detalla en el cuadro 17, las mejores densidad de trasplante fue la D2 (20 cm x 20 cm), con un aproximado de 29,33 g/planta, a diferencia de las D1 (15 cm x 15 cm), D3 (25 cm x 25 cm lograron promedios de 21,40 g/planta, 27,93 g/planta que se encuentran por debajo de la D1 y que estadísticamente son similares, resultando ser la mejor la D2.

En la figura 21, se detalla gráficamente el comportamiento de las densidades para el peso completo de la planta.

Figura 21. Comparación de medias y dispersión de promedios del peso de plantas



Fuente: (Elaboración propia, 2017).

En la (Figura N° 21), se presentan los valores promedios del peso (g/planta) de lechugas estudiados en tratamientos de distancia entre plantas. El valor de peso de plantas vario de 21,40 a 29,33 g. Las plantas que presentaron mayor peso fue la densidad (D2) de 20 cm, el cual está representado en la figura por la letra “a” y las plantas evaluadas en las densidades de 15 y 25 cm, fueron las que menor peso presentaron como se puede ver en la figura y son representadas con la letra “b”.

Se atribuye a que se obtuvo mayor rendimiento en peso fresco a los tratamientos que obtuvieron un mayor número de hojas, esto se especula a los diferentes tipos de densidades que se planteó en la investigación.

También se pudo evidenciar que las lechugas no alcanzaron su desarrollo debido a que el sistema fue totalmente orgánico donde no se podía añadir nada, para no dañar a los peces.

5.5.8. Análisis económico

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de la experimentación y el respectivo análisis estadístico, es esencial, la realización del análisis económico de los resultados, para realizar recomendaciones más adecuadas, combinados los aspectos agronómicos y económicos más favorables de la investigación.

La evaluación económica nos permite proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad o no de un tratamiento, para realizar un cambio o modificar en nuestro sistema de producción, como en el cultivo de lechuga.

5.5.8.1. Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado de cada tratamiento (densidad de siembra) es el beneficio medio reducido en un cierto porcentaje, con el fin de reflejar la diferencia entre la ventaja experimental en las distintas densidades de siembra que se evaluó, producida con una sola variedad de lechuga, en la producción comercial a pequeña escala. Se realizó el cálculo de producción de (lechugas en un sistema acuapónico/m²), se tiene para la densidad D1= 36 plantas/m², D2= 30 plantas/m²,

D3= 21 plantas/m², entran en el sistema NFT. Estos datos se reflejan en el (Cuadro 18).

Cuadro 18. Rendimiento ajustado por tratamiento

Tratamientos	Rendimiento Medio (Kg/M2)	Rendimiento Ajustado (Kg/M2)	Beneficio Bruto (Bs/M2)/Año	Costo Variable (Bs/M2)	Beneficio Neto (Bs/M2)
D-1	845,0	760,50	3042,00	96	14365
D-2	824,0	741,60	2966,40	96	14008
D-3	803,0	722,70	2890,80	96	13651
TOTAL					42024

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

En este caso se tomó la recomendación del manual de Evaluación Económica del centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), donde se considera un 10% del rendimiento obtenido en la investigación, se justifica ya que durante la investigación las unidades experimentales recibieron atención y cuidado especial, a diferencia del ámbito comercial estos no dan atención especial a sus cultivos.

La producción a los 96 días, según investigaciones anteriormente realizadas el ciclo productivo varía de entre 70 a 90 días de acuerdo a la variedad.

Mediante la siguiente investigación se puede lograr 5 ciclos/año considerando que están en almacigo (primera fase) 33 días, y en aclimatación (segunda fase) 5 días, en el sistema (fase final) 58 días hasta terminar su ciclo productivo

5.5.9. Relación Beneficio bruto

La relación de beneficio/costo, se lo hizo para la comparación sistemática entre el beneficio o resultado de una actividad y el costo de realizar esa actividad.

Cuadro 19. Beneficio bruto anual

ITEMS	T1	T2	T3
Rendimiento promedio en kg/m ²	845,0	824,0	803,0
Rendimiento Ajustado (-10%)	760,50	741,60	722,70
Precio (Bs/kg)	4	4	4
Beneficio Bruto (Bs/m ²)	3042,00	2966,40	2890,80
Numero de Campañas Año	5	5	5
Beneficio Bruto Año Bs/m ²	15210	14832	14454

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

En el cuadro 19, se observa que los que mayor beneficio bruto obtuvieron fue el T1 densidad D1 (15 cm x 15 cm) con un aproximado de 15210 Bs/Año/m² seguido del T2 D2 (20 cm x 20 cm) con un 14832 Bs/Año/m² y por último la D3 (25 cm x 25 cm) quien fue el menor beneficio bruto obtenido que fue de 14454 Bs/Año/m².

2.2.2 Relación beneficio costo (Bs/Año)

IBTA Y PROINPA (1995), indica que la regla básica de beneficio/costo (B/C), es que una inversión será rentable, si los beneficios son mayores que la unidad ($B/C > 1$), es aceptable cuando es igual a la unidad ($B/C = 1$), y no es rentable si es menor a la unidad ($B/C < 1$).

$$BC = IB / CT$$

Dónde:

BC = Relación Beneficio/Costo

IB = Ingresos Bruto

CT = Costo Total

Cuadro 20. Relación Beneficio Costo Bs/año

Tratamiento	Beneficio Bruto	Costo Total	B/C
D-1	9126,00	845,0	1,58
D-2	8899,20	824,0	1,54
D-3	8672,40	803,0	1,50

Fuente: (Elaboración propia, 2017).

Según al análisis económico realizado que se muestra en el cuadro 18, indica que la densidad D1 (15 cm x 15 cm) logró un 1,58 Bs/Año, lo cual significa que por cada boliviano invertido se logra tener de ganancia 0,58 Bs. adicional del capital invertido, seguidamente de la densidad D2 logro 1,54 Bs y por último la D3 que obtuvo 1,50

Sin embargo es conveniente realizar cultivos hidropónicos en sistema NFT con lechuga a una densidad D1 (15 cm x 15 cm), que resulto obtener la mejor características en las variables de respuesta y a la vez un beneficio costo por encima de 1 Bs de ganancia. Cabe mencionar que solo se consideró 5 ciclos, si se realiza bien los tiempos se puede obtener hasta 7 ciclos de producción continua, de esta manera mejorar los ingresos e incrementar en el rendimiento pasando a ser rentable la producción de la lechuga en un sistema acuapónico.

También mencionar que el cultivo de lechuga puede rendir hasta 7 cosechas, pero se tendría que adaptar y mejorar la condición del sistema acuapónico, aumentando de diámetro los canales de circulación de los nutrientes. En cambio según Quispe (2015), quien investigo evaluación de seis variedades de lechuga cultivadas con el sistema re circulante NFT, menciona que obtuvo beneficio costo de 1 en la mayoría de sus tratamientos, significando que no es rentable producir lechuga en este tipo de sistema. En cambio en el estudio realizado mostramos que si se puede lograr producción en el sistema NFT con rentabilidad y ganancia, siempre y cuando la producción sea continua y se tenga mercado.

La relación se hizo con el costo total más la infraestructura, se puede decir que es una inversión fuerte al inicio luego no se aran gastos como en la infraestructura del

sistema acuapónico que ya estará ahí, sino solo se proveerá de costos variables y ya no de los costos fijos.

De acuerdo a estos resultados se puede señalar que la producción de lechuga en un sistema acuapónico no es rentable a pequeñas escalas, cuyos rendimientos fueron bajas en cuanto a una producción hidropónica.

6. CONCLUSIONES

La acuaponía se presenta como una alternativa a los sistemas de producción convencionales, gracias a su capacidad de producir dos productos comerciales como la cría de peces y la producción de hortalizas utilizando la misma infraestructura, dentro de las oportunidades de investigación se destaca la poca información en este tema y la falta de probar estos sistemas acuapónicos a las condiciones de campo presentes en nuestro país. :

- Para el porcentaje de supervivencia en el sistema NFT, se logró destacar que los porcentajes de supervivencia estuvieron por encima del 90% en dos de los tres tratamientos de estudio, por lo que significa que sirvió de gran manera realizar el trasplante al llegar a la tercera hoja del cultivo. Deduciendo que el tipo de densidad también tuvo un efecto directo en el porcentaje de supervivencia del cultivo.
- Respecto al número de hojas, se muestra que la densidad (D3) tuvo un mayor número de hojas de 11 a 12 hojas/planta, seguido por la densidad (D2) que obtuvo 10 hojas/planta y por último con menor promedio fue la densidad (D1) con 9 hojas/planta.
- Para el diámetro de tallo, nos muestra los resultados del diámetro de cuello o base de tallo para cada densidad, encontrándose que el mayor diámetro de cuello fue para la densidad (D2) con 6,63 cm seguido muy de cerca por la densidad (D3) con 6,38 cm y por último la densidad (D1) con 5,50 cm. Observándose que existe una similitud en los resultados.
- Para el volumen radicular se tiene a la, D3 (25 cm x 25 cm), con un promedio de 22,33 ml de volumen radicular como la mejor, y las que menores volúmenes alcanzaron fueron la D2 (20 cm x 20 cm), D1 (15 cm x 15 cm), que alcanzaron un promedio de 17,67 ml, 12,67 ml de volumen radicular, resultando ser la mejor D3 que logro un promedio más alto.

- Se obtuvo mejores resultados en cuanto al rendimiento de los valores promedios del peso de plantas (gr/planta) de lechugas estudiados en tratamientos de distancia entre plantas. El valor de peso de plantas vario de 21.40 a 29.33 gr. Las plantas que presentaron mayor peso por planta fueron las estudiadas en una distancia entre plantas de 20 cm (D2) y las plantas evaluadas en distancia entre plantas de 15 y 25 cm, fueron las que menor peso de plantas presentaron.
- Los resultados obtenidos de acuerdo al tiempo en la presente investigación indican que hubo un bajo rendimiento en cuanto a la producción esto es a causa del exceso de plantas y la poca densidad de peces donde la cantidad de nutrientes generada por los peces no llego a bastecer en el desarrollo de todas las plantas de cultivo donde presentaron un tamaño pequeño al llegar a los 96 días.
- De acuerdo al análisis económico, los ingresos de la producción en este sistema acuapónico resultaron que las tres densidades de siembra D1, D2, D3, presentaron valores menores a 1, en un tiempo de 3 meses lo que duro la investigación, pero si lo calculamos para 5 cosechas el sistema sería rentable.
- Por otra parte, el análisis de B/C se hizo con todos los costos de instalación, incluyendo costos fijos más costos variables totales que se utilizaron en la presente investigación

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos específicos el resultado obtenido de las variables de respuesta en la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones.

- Realizar investigaciones futuras para evaluar el rendimiento de un sistema de cultivo acuapónico por cuatro ciclos de cultivo, adquiriendo datos precisos por ciclo para luego obtener un promedio en cuanto a la producción anual.
- Estudiar aspectos físicos químicos de salida y entrada de nutrientes hacia el sistema, y tanque de los peces.
- Controlar mediante cálculos precisos los volúmenes de evaporación y muestreo en el sistema acuapónico.
- Caracterizar el agua en el sistema acuapónico en términos de micro y macronutrientes.
- se recomienda estudiar tipos de Biofiltros para verificar el tiempo de transformación de los nutrientes.
- El largo de la raíz, es una de las variables, que no se midió en la presente investigación, por lo cual es necesario realizar experimentos tomando datos de esta variable tan importante ya que se observó raíces muy prolongadas en cuanto al número de hojas de la planta, y también es muy importante ya que determina los días al trasplante.
- Algunas lechugas empiezan a desarrollar más rápido que otras por lo cual se recomienda realizar investigaciones futuras con otros tipos de variedades de lechuga.
- Se recomienda reducir la cantidad de plantas por m^2 , esto para que no exista competencia al asimilar los nutrientes por las plantas.
- Económicamente para que este nuevo sistema de producción acuapónica tenga éxito es necesario realizar proyectos a grande escala ya que toda alternativa al desarrollo debe ser aceptable, técnicamente factible, acorde a las necesidades de cada productor.

8. BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA, P.; ZARZA, E.; SÁNCHEZ, R. 1998. La Carpa Y Su Cultivo. Fondepesca. 46 P.
- ARTEAGA, Y., 2003. Diseños experimentales. Bolivia. 17-31 p.
- ARIAS, S., 2009. Manual De Producción De Lechuga. Mca - Honduras / Eda. 34 P.
- BAUTISTA, M., 2000. Evaluación Del Rendimiento De Cuatro Variedades De Lechuga (*Lactuca Sativa* L.) En Cultivo Hidropónico, Utilizando Como Sustrato Arena Y Cascara De Arroz. Facultad De Agronomía, Universidad De San Carlos De Guatemala: Pp 71.
- BUSTAMANTE, A. (2015). Acuaponía: Sistema De Producción Integrado.
- DISPONIBLE EN EL URL:
[http://www.Hortyfresco.Cl/Docs/Udelar/13La%20acuapon%C3%Ada%20com%20ejemplo%20de%20sistema%20de%20producci%C3%B3n%20integrado%20\(Andr%C3%A9s%20bustamante\).Pdf](http://www.Hortyfresco.Cl/Docs/Udelar/13La%20acuapon%C3%Ada%20com%20ejemplo%20de%20sistema%20de%20producci%C3%B3n%20integrado%20(Andr%C3%A9s%20bustamante).Pdf) (Fecha De Consulta 17/07/2017).
- CAÑAS, R. 1995. Alimentación Y Nutrición Animal. Publicación De La Facultad De Agronomía. Pontificia Universidad Católica De Chile. Santiago, Chile. 575 Pp.
- CARRUTHERS, S. (2015). Small-Scale Aquaponic Food Production.
- CASTAÑÓN, V., GUISBERT, G., GUTIERREZ, R., LAURA, J. 2001. Ecopiscicultura. Una Nueva Alternativa Para El Cultivo De Carpa Y Tilapia En Los Yungas. Caranavi. La Paz, Bolivia. 109 Pp.
- CICESE, CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA 2008. Gaceta Electrónica, Cicese. 32p.
- CIDAB, 2002. Alimento Y Alimentación De La Trucha. Manual De Capacitación. Centro De Investigación Y Desarrollo Acuícola Boliviano. Bolivia.
- COLAGROSSO, A. (2014). Instalación Y Manejo De Sistemas De Cultivo Acuapónicos A Pequeña Escala Disponible En El Url:

[Http://Www.Elfinancierocr.Com/Negocios/Manual-Desarrollo](http://www.Elfinancierocr.Com/Negocios/Manual-Desarrollo)

[Cultivo.Acuaponico_Elffil20140113_0001.Pdf](#) (Fecha De Consulta 08/05/2017).

- CRONQUIST, A., 1989. Introducción A La Botánica. México. Centro Regional De Ayuda Técnica, Edición Continental S.A.
- DIVER, S. 2000. Aquaponics- Integration Of Hydroponic With Aquaculture. Horticulture System Guide. National Center For Appropriate Technology. Transfer for Rural Areas, Usa. 37 Pp.
- DOUGLAS, J., 1987, Hidroponia, Como Cultivar Sin Tierra, Cuarta Edición, El Ateneo, Buenos Aires – Argentina Pp. 80-93.
- ENCICLOPEDIA BOLIVIA AGROPECUARIA, 2010. Tomo li. Agricultura, Forestación, Peces, Pecuaria Y Áreas Protegidas. 376 P.
- ESTRADA, P. J., 1990. Carpas Solares; Técnicas De Producción Para Hortalizas Bocedefoa. 67 P.
- ESCALANTE, E. 2001. Acuaponia. Mexico. Universidad Autónoma De Chapingo. 176 P.
- FAO, 2005. Produccion De Hortalizas. La Paz – Bolivia.
- FAO. 2008. Estado Mundial De La Pesca Y La Acuicultura. Roma: Food And Agriculture Organization Of The United Nations (Fao).
- FAO, 2014. Food And Agriculture Organization Of The United Nations Rome.
- FLORES, A., 2009. Horticultura. Huertos Escolares Para La Seguridad Alimentaria. Módulo li. Caranavi-Bolivia. 28 - 32 P.
- GARCÍA, V., 1996, Efecto De Seis Épocas De Deshierbe Manual Y Uso De Herbicidas En El Cultivo De Lechuga En Carpa Solar, Pp. 89.
- HARTMANN, F., 1990. Invernaderos Y Ambientes Atemperados. Fades. La Paz - Bolivia, P: 30,38 – 90.
- HARVARD BUSINESS PRESS. (2007). *Entendiendo Las Finanzas*. Santiago De Chile: Serie Pocket Mentor, Impact Media Comercial S.A.
- HOCHHEIMER, J.N., & WHEATON, F. (1998). Biological Filters: Trickling And Rbc Design. Paper Presented At The Proceedings Of The Second International Conference On Recirculating Aquaculture, Roanoke, Va.

- HUET, M. 1998. Tratado De Piscicultura. Ediciones Mundi-Prensa. Versión Española: Ing. Benito Martínez. Madrid - Barcelona – México. 775 Pp.
- INTIPAMPA, A., 2014. Evaluación Del Comportamiento Agronómico De Tres Cultivares De Lechuga (*Lactuca Sativa* L.) En Dos Comunidades Del Municipio De Caranavi De La Paz. Tesis De Grado. Umsa. Facultad De Agronomía. La Paz – Bolivia.
- IZQUIERDO, J. 2005. Hidroponía Popular, Oficina Regional De La Fao, Santiago –Chile. P. 50.
- JIMÉNEZ, J. 2013. Acuaponía Como Estrategia Del Desarrollo Sustentable. Recuperado De [Http:// Www.Gestiopolis.Com](http://www.Gestiopolis.Com)
- LEWIS, W. M.; YOPP, J. H.; SCHRAMM, H. L.; BRANDENBURG, A. M., 1978. Use Of Hydroponics To Maintain.
- LOPEZ, J. 1997. Nutrición Acuícola. Universidad De Mariño, Facultad De Ciencias Pecuarias. Colombia. Editorial Universitaria. 211 Pp.
- GUERRA, H., ALCANTARA, F., CAMPOS, L., 1995, Piscicultura Amazónica Con Especies Nativas. Tratado De Cooperación Amazónica. Secretaria Pro Tempore.
- QUALITY OF RECIRCULATED WATER IN A FISH CULTURE SYSTEM. Transactions Of The American Fisheries Society. 107:92–99.
- LLERENA, A. G., 1980. Enciclopedia De La Huerta. Editorial Mundo Técnico: Buenos Aires, Argentina. 157 P.
- MARTÍNEZ, R. 2005. Aprovechamiento De Los Nutrientes En Peces. Consultado El 18 De diciembre 2005. Disponible En [Http://: www.nutricionpeces.com.html](http://www.nutricionpeces.com.html)
- MARULANDA, C., 2003. Hidroponía Familiar En Colombia Desde El Eje Cafetalero. Editorial Optigraf, América - Colombia. Pp. 52 - 55.
- MALCOLM J. 2005. Backyard Aquaponics. A Guide To Building An Aquaponic System. Joel Malcolm, Western Australia.
- MALLAR, A., 1978. La Lechuga. Editorial Albatro. Buenos Aires Argentina. Pp. 55.

- MATEUS, J. 2009. Acuaponía: Hidroponía Y Acuacultura, Sistema Integrado De Producción De Alimentos. Corpoica, Colombia. 41p.
- MEYER, D. 2004. Introducción A La Acuacultura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. 82p.
- MICHELENA, V., ET. AL. 2004, Manual De Micro Huertas En Venezuela, Caracas –Venezuela.
- NELSON RL. 2007. Acuaponía. Nelson/Pade Multimedia. Montillo, Wi. Usa.
- PARKER R. 2002. Aquaculture Science. Second Edition. Delmar. Albany, Ny. Usa.
- PERRIN, R.; ANDERSON, J., 1988. Formulación De Recomendaciones A Partir De Datos Agronómicos. Publicado Por Cimmyt. Programa De Economía. México. Pp. 92.
- QUISPE, L., 2015. Evaluación de seis variedades de lechuga, (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con el sistema hidropónico recirculante NFT en el centro Experimental de Cota Cota. Tesis. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía
- RAMÍREZ, D; SABOGAL, D; JIMÉNEZ, P; HURTADO, H. 2008. La Acuaponía: Una Alternativa Al Desarrollo Sostenible. Revista De Biología. Universidad Militar De Nueva Granada. 4(1):32-51.
- RAKOCY, J. E., 1999. The Status Of Aquaponics Part 1. Aquaculture Magazine. Septiembre-octubre. Pp 64 –70. Usa.
- RAKOCY, J. E., 1999. The Status Of Aquaponics Part 2. Aquaculture Magazine. Julio-agosto. Pp 83 – 88. Usa.
- RESH, M., 1978. Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook Of Soilless Food Growing Methods. Santa Bárbara, Estados Unidos. 287 P.
- RIVERA, M., 2015. Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT) en el centro experimental de Cota Cota. Bolivia Tesis. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía
- RUIZ, T., 1993. Manual De Horticultura, La Paz – Bolivia, Pp. 64.
- SÁNCHEZ, C., 2005. Producción De Lechugas. Ed. Ripalme. Lima-Perú. 135 P.

- SENAMHI, 2014. Boletín Climatología, La Paz – Bolivia.
- SCOTT, J. 2006. Evolutions Aquaponics (En Línea). Consultado El 14 De octubre 2015. Disponible En:www.Aquaponicsjournal.Com/Articleevolution.htm
- SOMERVILLE C., COHEN M., PANTANELLA E., STANKUS A. AND LOVATELLI A. 2014. Small-Scale Aquaponic Food Producción. Fao. Roma.
- TACON, A. 1989. Nutrición Y Alimentación De Peces Y Camarones Cultivados.
Manual De Capacitación. Nutrientes Esenciales – Proteínas Y Aminoácidos, Onu Para La Agricultura Y La Alimentación.
- TRANG, B. Y H. BRIX. 2014. Use Of Planted Biofilters In Integrated Recirculating Aquaculture. Aquaculture Research, P 460-469.
- VALADEZ, A., 1993. Producción De Hortalizas. Editorial Limusa. México. Pp. 141 - 147.
- VALDEZ, F. E., 2008. Efecto De Fertiirrigación En El Comportamiento Agronómico De Tres Variedades De Lechuga (*Lactuca Sativa* L.) Bajo Ambiente Atemperado En La Localidad De Viacha. Tesis De Grado. Umsa. Facultad De Agronomía. La Paz – Bolivia.
- WOYUAROVICH, E. 1989. Piscicultura Reproducción Artificial. Manual, Brasil.

ANEXOS

Anexo 1. Instalación del canal de cultivo (excavación para el tanque de 300 l)



Anexo 2. Nivelación del suelo para el sistema de retorno de agua



Anexo 3. Construcción de los canales de cultivo



Anexo 4. Siembra en el sustrato inerte



Anexo 5. Instalación de la bomba de agua y conexión hacia el tanque de los peces



Anexo 6. Verificación del correcto funcionamiento del sistema acuapónico



Anexo 7. Sembrado de los peces carpa hacia los tanques de 1200 lt



Anexo 8. Peso del alimento para los peces



Anexo 9. Toma de peso inicial y final de los peces



Anexo 10. Toma de datos de temperatura y pH



Anexo 11. Trasplante al sistema NFT



Anexo 12. Toma de datos de temperatura y número de días a la 4ta hoja



Anexo 13. Toma de datos de número de hojas



Anexo 14. Cosecha del cultivo



Anexo 15. Análisis de agua

Universidad Mayor de San Andrés
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales
 Instituto de Ecología
 Laboratorio de Calidad Ambiental


 LCA
 Calidad Ambiental

Informe de Ensayo: A 201/17 Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A201/17

Cliente: AGRONOMIA - UMSA
 Solicitante: Srtas. Verónica Maquera - Tania Paco Alanoca
 Dirección del cliente: Cota Cota C/30
 Procedencia de la muestra: Estación experimental de Cota Cota
 Provincia: Murillo
 Departamento: La Paz
 Punto de muestreo: Tanque de Pecces
 Responsable del muestreo: Tania Paco Alanoca
 Fecha de muestreo: 24 de noviembre, 2017
 Hora de muestreo: 08:00
 Fecha de recepción de la muestra: 24 de noviembre, 2017
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 24 de noviembre al 08 de diciembre, 2017
 Caracterización de la muestra: Agua de Pez
 Tipo de muestra: Simple
 Envase: Botella Pet
 Código LCA: 201- 1
 Código original: V-T Muestra

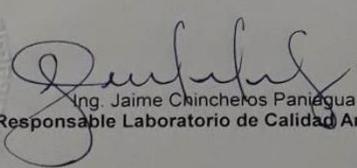
Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	V-T Muestra 201- 1
Conductividad eléctrica	EPA 120 1	µS/cm	1,0	584
DBO-5	EPA 405 1	mg/l	0,20	18
Nitrógeno total	EPA 351 1	mg/l	0,30	28
Fósforo total	EPA 365 2	mgP-PO ₄ /l	0,010	0,18
Potasio	EPA 258 1	mg/l	0,21	4,5

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 08 de 2017




 Ing. Jaime Chincheros Paniagua
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c. Arch
JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Costos de producción

Anexo 16. Costos fijos instalación de NFT con capacidad de 243 plantas en una area de 8 m²

DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	Precio	TOTAL
			Unitario (Bs)	(Bs)
Madera para los triángulos.	Pie2	34	7	238
Madera para la sujeción de la pirámide.	Pie2	4	7	28
Tubos de para desague 4" de diametro	Piezas	2	58	116
Codos de 4" pulgadas	Piezas	3	10	30
Te de 4" pulgadas	Piezas	1	12	12
Tubos de canal de cultivo de 3" de diámetro.	Piezas	5	52	260
Tubos de desagüe de 2" de diámetro.	Piezas	2	70	140
Tubos de ½" de diámetro.	Piezas	2	30	60
Tapas de tubos de 3" de diámetro.	Piezas	1	7	7
Polytubo de ½" de diámetro.	Metros	3	1,1	3,3
Clavos de ½"	Kilo	½	12	6
Reductor de 1" a ¾" de diámetro.	Piezas	1	3,5	3,5
Madera tableada de 1" * 0.15 metros * 4	Metros	4	4,5	18
Codos de 1" de diámetro.	Piezas	6	8	48
Agrofilm de 250 micras.	Metros	2	45	90
Cruzeta de 1" de diámetro.	Piezas	1	15	15
Llaves con unión universal de 1" de diámetro.	Piezas	2	85	170
Tapón hembra de ½" de diámetro.	Piezas	2	2	4
Micro tubo de 6 mm de diámetro.	Metros	10	2,5	25
Cinta aislante.	Piezas	4	5	20
teflón de ¾.	Piezas	24	3,5	84
Acoples de micro tubo.	Piezas	8	2,5	20
Pegamento PVC.	Piezas	2	12	24
Tanque de agua de 300 litros.	Pieza	1	280	280
Remaches de 3.5 mm.	Piezas	110	0,25	27,5
Chupador de 1" de diámetro.	Pieza	1	45	45
Clavos de 2".	Kilos	2	12	24
Tornillos de 1".	Kilo	½	12	6
Sujetadores de metal.	Piezas	72	1.5	108
Interruptor.	Pieza	1	70	70
Cable número 12.	Metros	120	1	120
Esponja.	Metro	1	25	25
Vinagre.	Litro	2	10	20
Pastaformo.	Hoja	12	6	72
TOTAL				2219
años de vida util 10				2219
costo anual				222
costo mensual				18

Anexo 17. Costos fijos instalacion de sistema acuaponico para 16 peces con una capacidad de 2000 litros

DESCRIPCION	Unidad	Cantida d	Precio Unitario	TOTAL
				(Bs)
Tubos PVC corriente de 3" pulgadas.	Barra	1	70	70
Clavos de ½ pulgada.	Kilo	1	12	12
Madera tableada de 1" x 0.15 metros x	Metros	16	4,5	72
Llaves universales ½"	Piezas	6	35	210
Tubos de ¾"	Piezas	6	34	204
Tapon ¾" hembra	Pieza	1	5	5
termometro	Pieza	1	150	150
Tee de ½"	Pieza	3	3,5	10,5
Tanque de agua de 1200 litros	Pieza	2	980	1960
Codos de 3" pulgada	Pieza	2	15	30
Tachos de 60 litros	Piezas	4	80	320
Flanges	Piezas	10	17	170
Grifo de ½"	Piezas	3	45	135
Coplas de ¾"	Piezas	3	6	18
Codos de ¾"	Piezas	8	3,5	28
llaves de ½" plastico	Piezas	6	35	210
Tubos de 1" pulgada	Piezas	2	60	120
Llaves de paso de 1" pulgada	Piezas	2	85	170
Codos de 1" pulgada	Piezas	6	8	48
Reduccion de 1" X ¾ buje	Piezas	1	5	5
Tee de 1" pulgada	Piezas	2	9	18
Cruzeta de 1" pulgada	Piezas	1	15	15
Tubos de ½"	Barra	8	30	240
Bañador	Pieza	1	80	80
Filtros	Pieza	2	80	160
Oxigenadores	Pieza	4	35	140
Red de pez	Pieza	1	15	15
Tela tul	Metros	1	20	20
Fibra	Libra	4	5	20
Biobolas	Pieza	1	70	70
TOTAL				4726
años de vida util 10				4725,5
costo anual				473
costo mensual				39

Análisis económico

Anexo 18. Rendimiento ajustado

tratamientos			
RENDIMIENTO PROMEDIO AJUSTADO	1	2	3
Rendimiento Promedio (Kg/m ²)	845	824	803
Rendimiento ajustado (-10%)	760,5	741,6	722,7

Anexo 19. Análisis Económico del sistema acuapónico

tratamientos			
Análisis Económico de la variedad estudiada	1	2	3
Rendimiento promedio (Kg/m ²)	845,0	824,0	803,0
Rendimiento ajustado (-10%)	760,50	741,60	722,70
Precio (Bs)	4	4	4
BENEFICIO BRUTO (Bs/m ²)	3042,00	2966,40	2890,80
BENEFICIO BRUTO 3 meses	9126,00	8899,20	8672,40
BENEFICIO BRUTO AÑO	15210,00	14832,00	14454,00
BENEFICIO BRUTO AÑO EN 8 m ²	0,6084	0,59328	0,57816
BENEFICIOS NETOS	14365	14008	13651
BENEFICIO/COSTO (Bs) PARA 3 MESES	0,95	0,92	0,90
BENEFICIO/COSTO (Bs) AÑO	1,58	1,54	1,50

Anexo 20. Costos del sistema acuapónico

costos de producción	tratamientos		
	T1	T2	T3
COSTOS FIJOS			
Alquiler de bomba 1 Hp	6	6	6
Alquiler del sistema NFT	18	18	18
Alquiler del sistema acuapónico	39	39	39
Alquiler del invernadero	70	70	70
COSTOS FIJOS TOTALES	133	133	133
COSTOS VARIABLES			
Semilla	102	81	60
Peces	320	320	320
Comida	290	290	290
COSTOS VARIABLES TOTALES	712	691	670
COSTOS DE PRODUCCION TOTAL	845,0	824,0	803,0