

EVALUACIÓN EN LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO Vs UN SISTEMA ACUÍCOLA CONVENCIONAL BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO UNIVERSIDAD DE NARIÑO - COLOMBIA

**DAISY DAYANN SÁNCHEZ ORDOÑEZ
DARLING JOHANA RUIZ SALCEDO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA
COLOMBIA
2016**

EVALUACIÓN EN LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO Vs UN SISTEMA ACUÍCOLA CONVENCIONAL BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO UNIVERSIDAD DE NARIÑO - COLOMBIA

**DAISY DAYANN SÁNCHEZ ORDOÑEZ
DARLING JOHANA RUIZ SALCEDO**

Trabajo de Grado en la Modalidad de tesis de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Producción Acuícola

**Director
VILMA YOLANDA GÓMEZ N.
Biol.M**

**Codirector
ORLANDO BENAVIDES BENAVIDES
I.A., M.Sc**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA
COLOMBIA
2016**

“Las ideas aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de su autor”

Artículo 1° del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Presidente Vilma Yolanda Nieves

Jurado Delegado Roberto García Criollo

Jurado Wilmer Rene Sanguino

San Juan de Pasto, septiembre del 2016

Quiero dedicar este proyecto a tí hijo mío; Juan José Zuñiga Sanchez; eres la luz de mí vida, el origen de mis desvelos, preocupaciones y de mis ganas de ser mejor persona.

Tu inmenso amor son los detonantes de mí felicidad, de mí esfuerzo y de mis ganas de buscar lo mejor para tí.

Te agradezco porque con la ayuda del inmenso creador me ayudaste a encontrar el lado dulce y no amargo de la vida. Fuiste mí motivación más grande para concluir con éxito este proyecto.

Te amo inmensamente

Dayann Sánchez

“La felicidad humana generalmente no se logra con grandes golpes de suerte, que pueden ocurrir pocas veces, sí no con pequeñas cosas que ocurren todos los días.”

Benjamín Franklin

Dedico a mi pequeña hija:

Posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta lo que significas para mí. Eres la razón de que me levante cada día esforzarme por el presente y el mañana, eres mi motor y mi principal motivación.

Como en todos mis logros en este has estado presente

Te amo Valeria

Darling Johana Ruiz Salcedo

"El 90% del éxito se basa simplemente en insistir"
Woody Allen

AGRADECIMIENTOS

Expresamos los más sinceros agradecimientos a:

ROBERTO GARCÍA CRIOLLO	Ingeniero en Producción Acuícola Docente Profesor de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño
ORLANDO BENAVIDES BENAVIDES.	Ingeniero Agrónomo. Profesor de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño
WILMER RENE SANGUINO	Ingeniero en Producción Acuícola Docente de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño
ÁLVARO EDMUNDO BURBANO	Magister de Estadística de la Universidad Nacional Docente de la Facultad de Ciencias Exactas y Natural Departamento de Matemáticas y Bioestadística
VILMA YOLANDA GÓMEZ NIEVES	Bióloga Marina Docente Profesora de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño
LUIS ALFONSO SOLARTE PORTILLA	Zootecnista, Esp. Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Pecuarias. Universidad de Nariño.
CAMILO LENIN ROMERO GUERRERO	Ingeniero en Producción Acuícola Técnico de laboratorio
PIEDAD MEJÍA SANTACRUZ	Secretaria del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño
OSCAR MEJÍA SANTACRUZ	Auxiliar del centro de Documentación Especializada del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la

CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN	20
2. OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. MARCO REFERENCIAL.....	22
3.1 ACUAPONÍA.....	22
3.2 LA ACUICULTURA EN EL MUNDO	23
3.3 ACUICULTURA EN COLOMBIA.....	24
3.4. SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA	25
3.5. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS.....	26
3.6. HIDROPONÍA	28
3.6.1. Sistema de camas con sustrato sólido:.....	28
3.6.2. Sistema de raíz flotante.	29
3.6.3. Sistema de solución nutritiva recirculante.	29
3.7 GENERALIDADES DE LA TRUCHA ARCO IRIS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	30
3.7.1 Clasificación taxonómica.....	31
3.7.2. Parámetros de calidad de agua para trucha arcoíris (o. mykiss)	31
3.8 LECHUGA ROMANA ACRÓPOLIS (<i>Lactuca sativa</i>).....	31
3.8.1 Clasificación taxonómica.....	32
3.9 SUSTRATOS	32
3.9.1 Sustratos inorgánicos.....	33
3.9.2 Sustratos orgánicos.	33
4. METODOLOGÍA	34
4.1. LOCALIZACIÓN.....	34
4.2. PERIODO DE ESTUDIO.....	34
4.3 INSTALACIONES	34
4.4 MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS	35
4.4.1 Materiales.	35

4.4.2. Equipos	35
4.4.3. Insumos	35
4.4.4 Material biológico	35
4.5 PLAN DE MANEJO.....	36
4.5.1 Caja de Nivel Constante.	36
4.5.2. Sistema de transporte de flujo	36
4.5.3. Tanque de cultivo.....	36
4.5.4. Clarificador.....	36
4.5.5. Sumidero.....	36
4.5.6. Motobomba	36
4.5.7. Unidad de aireación	36
4.5.8 Unidades experimentales.....	37
4.5.9 Descripción general del sistema acuapónico.....	37
4.5.10 Descripción general del sistema acuícola convencional.	37
4.6 TRANSPORTE Y ACLIMATACIÓN DE LOS ANIMALES.....	38
4.7 ALIMENTACIÓN.....	39
4.8 MUESTREO.....	39
4.9 ADECUACIÓN DE SUSTRATOS EN TUBOS PVC.....	40
4.9.1 Trasplante de lechugas.....	41
4.9.2 Siembra.....	41
4.10 MONITOREO CALIDAD DE AGUA	42
4.10.1 Monitoreo de caudales.....	42
4.11 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO Y CONVENCIONAL....	42
4.11.1 Inicio y funcionamiento de los sistemas.....	42
4.11.2 Periodo de maduración del sistema acuapónico.....	42
4.11.3 Monitoreo del sistema acuapónico.....	43
4.11.4 Monitoreo del sistema convencional	43
4.12 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
4.12.1 Remoción.....	43
4.12.2 Comparación sistemas.....	44

4.12.3 Supervivencia.	45
4.12.3.1 Variable Supervivencia	45
4.12.5 Análisis estadístico	46
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
5.1 PORCENTAJE DE REMOCIÓN	47
5.1.1 Amonio.....	47
5.1.2 Nitritos.....	49
5.1.3. Nitrato	52
5.2. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA	54
5.2.1. Oxígeno disuelto.	55
5.2.2. Temperatura.	55
5.2.3. Potencial de hidrógeno (pH.....	57
5.3. VARIABLES PRODUCTIVAS	58
5.3.1 Peso.....	58
5.3.2. Incremento de peso.	59
5.3.3. Talla	60
5.3.4 Incremento de Talla.	60
5.3.5. Supervivencia.	61
5.3.6 Análisis parcial de relación beneficio/costo.....	62
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6.1 CONCLUSIONES	64
6.2 RECOMENDACIONES.....	64
7. BIBLIOGRAFIA	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para Trucha arcoíris	30
Tabla 2. Monitoreo parámetros físico-químicos	41
Tabla 3. Amonio en la entrada y salida de cada tratamiento	46
Tabla 4. Nitrito en la entrada y salida de cada tratamiento	48
Tabla 5. Nitrato en la entrada y salida de cada tratamiento	51
Tabla 6. Valores físico-químicos promedios	53
Tabla 7. Prueba de hipótesis peso inicial	57
Tabla 8. Prueba de hipótesis peso final	58
Tabla 9. Prueba de hipótesis talla inicial	59
Tabla 10. Prueba de hipótesis talla final	59
Tabla 11. Costos parciales de producción por sistema	62

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. Producción acuícola mundial	25
Figura 2. Sistema de camas con sustrato solido	29
Figura 3. Sistema de raíz flotante	30
Figura 4. Sistema de solución nutritiva recirculante	31
Figura 5. Sustratos orgánicos	34
Figura 6. Laboratorio de hidráulica	35
Figura 7. Sistema acuapónico	36
Figura 8. Sistema de Acuícola Convencional	37
Figura 9. Transporte de animales	37
Figura 10. Aclimatación de los animales	37
Figura 11. Muestreos de animales	38
Figura 12. Incorporación de los sustratos	39
Figura 13. Trasplante de lechugas	39
Figura 14. Siembra de las lechugas en el sistema	40
Figura 15. Comportamiento de amonio en la entrada y salida de cada tratamiento	45
Figura 16. Porcentaje de remoción amonio sistema acuapónico	46
Figura 17. Porcentaje de remoción amonio semanal	46
Figura 18. Comportamiento de nitrito en la entrada y salida de cada Tratamiento	48
Figura 19. Porcentaje de remoción del nitrito sistema acuapónico	49
Figura 20. Porcentaje de remoción nitrito semanal	49

Figura 21. Comportamiento del nitrato en entrada y salida de cada Tratamiento	50
Figura 22. Porcentaje de remoción nitrato sistema acuapónico	51
Figura 23. Porcentaje de remoción nitrato semanal	52
Figura 24. Comportamiento oxígeno en el Sistema Acuapónico vs convencional	53
Figura 25. Comportamiento temperatura en el Sistema Acuapónico vs convencional	55
Figura 26. Comportamiento pH total en el Sistema Acuapónico vs convencional	56
Figura 27. Incremento de peso en el sistema Acuapónico Vs Convencional	57
Figura 28. Incremento de longitud en el sistema Acuapónico Vs Convencional	59
Figura 29. Supervivencia de los animales	60
Figura 30. Relación Beneficio-Costo por sistema	61

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. ANOVA para Amonio por Tratamiento	69
Anexo B. Pruebas de Múltiple Rangos para Amonio por Tratamiento	69
Anexo C. ANOVA para Nitrito por Tratamiento	69
Anexo D. Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrito por Tratamiento	69
Anexo E. Resumen estadístico de residuos Nitrito	70
Anexo F. ANOVA para Nitrato por Tratamiento	70
Anexo G. Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrato por Tratamiento	70
Anexo H. Resumen estadístico de residuos Nitrato	71
Anexo I. Análisis de variancia para incremento de peso	71
Anexo J. Prueba de Tukey 95,0 % para incremento de peso	71
Anexo K. Análisis de variancia para incremento de talla	71
Anexo L. Prueba de Tukey 95,0 % para incremento de talla	72
Anexo M. Análisis de varianza para oxígeno	73
Anexo N. Prueba de Tukey 95,0 % para oxígeno	73
Anexo S. Análisis de varianza para temperatura	73
Anexo O. Prueba de Tukey 95,0 % para temperatura	74
Anexo P. Análisis de varianza para pH	74
Anexo Q. Prueba de Tukey 95,0 % para pH	74
Anexo R. Bitácoras de parámetros físicos	75
Anexo S. Datos remoción compuestos nitrogenados	76
Anexo T. datos talla y peso sistema convencional	77
Anexo U. datos talla y peso sistema acuapónico	77

Anexo V. Incremento de peso semanal	78
Anexo W. incremento de talla semanal	78
Anexo X. plano frontal sistema acuapónico	79
Anexo Y. composición alimento	80
Anexo z. supervivencia	80

GLOSARIO

AIREACIÓN: proceso mediante el cual se adiciona aire al agua con el propósito de incrementar los niveles de oxígeno.

ACUAPONÍA: es el nombre que se da a la integración de la acuicultura y la hidroponía.

ALIMENTO BALANCEADO: mezcla de alimentos que contienen todos los elementos nutricionales necesarios para cada especie.

BIOFILTRACIÓN: El proceso de remoción amoniacal en un filtro biológico se denomina nitrificación, y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco primero a nitrito y finalmente a nitrato

BIOFILTRO: conocidos también como filtros biológicos, son dispositivos utilizados para la eliminación de compuestos contaminantes generados por una actividad acuícola y tratados en un proceso biológico.

DENSIDAD DE SIEMBRA: número de animales sembrados por unidad de área o volumen dentro de una unidad de cultivo.

DESNITRIFICACIÓN: es el proceso biológico por el cual una bacteria quimio trófica convierte nitratos (NO_3) a nitrógeno gaseoso (N_2), N_2O o amoníaco (NH_3).

EFLUENTE: flujo proveniente de un sistema hidráulico.

FILTRACIÓN: proceso de remoción de partículas suspendidas del agua proveniente de un sistema acuícola y que pasa a través de un medio poroso.

EUGENOL: es un líquido extraído de aceites esenciales como el de clavo de olor y la canela. En acuicultura es utilizado como anestésico.

HIDROPONÍA: es el cultivo de plantas, principalmente hortalizas, sin usar suelo, que es substituido por un sustrato sólido constituido por materiales inertes.

MATERIA ORGÁNICA: materia compuesta de derivados del carbono.

NITRIFICACIÓN. El amoníaco es el principal producto final del catabolismo de la proteína y es excretado por los peces como amoníaco NH_3 a través de las branquias. El amoníaco existe en dos formas: ionizado y no ionizado, la suma de las dos formas se denomina nitrógeno amoniacal total (NAT).

EUGENOL: líquido oleoso de color amarillo pálido, extraído de ciertos aceites esenciales, especialmente el clavo de olor. Usado en acuicultura experimental como anestésico.

SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN EN ACUICULTURA (RAS): sistemas que incorporan tratamientos y reutilización de agua, en los que se renueva menos del 10% del volumen total

RESUMEN

En el Laboratorio de Hidráulica del programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño se realizó la presente investigación con el fin de evaluar la eficiencia de remoción de compuestos nitrogenados. Para ello se utilizaron cuatro tratamientos: T0- Sistema acuícola convencional; T1 Sistema Acuapónico + cascarilla de arroz; T2 Sistema Acuapónico + fibra de coco; T3 Sistema Acuapónico sin sustrato, con tres replicas cada uno, incorporando la producción de Trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) y Lechuga (*Lactuca sativa*),

Para el sistema acuapónico se utilizaron nueve tubos de PVC de cuatro pulgadas de diámetro, para la siembra de lechugas (*Lactuca sativa*); se dispuso de 135 plántulas, distribuidas en los tubos. Los dos sistemas contaron con un tanque de cultivo de 1000 litros cada uno, con 75 ejemplares de Trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*) con un peso promedio de 15,36 g y una talla de 10,7 cm, existiendo homogeneidad en los animales sembrados según la prueba de hipótesis realizada.

La toma de agua del sistema acuapónico se realizó en el tanque de cultivo (entrada), y en la parte final de cada unidad experimental (salida), mientras que para el sistema convencional se tomaba una muestra antes de recambio (entrada), y después de recambio (salida).

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con sub muestreo para determinar la eficiencia de remoción y su efecto, en cuanto a las variables incremento de peso, incremento de longitud, se realizó una prueba de hipótesis. Se determinó la existencia de diferencias significativas aplicando un análisis de varianza ($\alpha=0,05$) y la prueba de Tukey para comparar las medias y establecer el mejor tratamiento.

El análisis de varianza registró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p<0,05$). Mediante la prueba de Tukey se estableció que el T2, (sistema acuapónico + fibra de coco), fue el mejor tratamiento con valores de 35,71%, 75% y 33,75% para remoción de amonio nítrico y nítrato respectivamente.

Para el incremento de peso y talla semanal no existieron diferencias significativas, mientras que el peso y talla final el mejor sistema fue el acuapónico con valores de 58,043 g, 22,93 cm respectivamente, el sistema acuapónico reportó una relación de 0,145, mientras que el sistema convencional alcanzó una relación de 0,019.

Por consiguiente los sistemas acuapónicos representan una buena alternativa para realizar un aprovechamiento optimizado del recurso hídrico e incrementar la producción de trucha y lechuga gracias al diseño y mantenimiento de eficientes unidades de tratamiento.

ABSTRACT

In the Hydraulics Laboratory Program in Aquaculture Production Engineering of the University of Nariño, this research was conducted in order to evaluate the efficiency of the removal of nitrogen compounds. This was used in four treatments: T0 - Conventional Aquaculture System; T1 - Aquaponic System + rice husks; T2 - Aquaponic System + coconut fiber; T3 - Aquaponic System without substratum, with three replicas for each one, incorporating the production of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Lettuce (*Lactuca sativa*).

The aquaponic system was used in nine, four inch diameter PVC pipes, for planting lettuce (*Lactuca sativa*) 135 seedlings were provided and distributed in the pipes. The two systems counted on a culture tank of 1000 liters each, with 75 samples of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with an average weight of 15.36 g and a size of 10.7 cm, homogeneity exists in the field animals according to hypothesis testing performed.

The water sample of the aquaponic system was made in the culture tank (input) and at the end of each experimental unit (output), while for the conventional system a sample before replacement (input) was taken, and after replacement (output).

The design was completely random (DCA) with sub sampling to evaluate the removal efficiency and their effects. On the variables of weight gain and increase in length, a hypothesis test was performed. The existence of significant differences was determined using an analysis of variance ($\alpha = 0.05$) and Tukey test to compare measures and establish the best treatment.

Analysis of variance showed statistically significant differences between treatments ($p < 0.05$). The Tukey test established that the T2 (aquaponic system + coconut fiber) was the best treatment with values of 35.71%, 75% and 33.75% for nitrite removal of ammonium and nitrate respectively; in terms of increased weight, length, and survival. Tukey showed the best results for the aquaponic system with 58.043 g, 22.93 cm and 100% respectively.

Increasing weight and size weekly showed no significant differences, while the weight and final height had the best results with the aquaponic system with values of 58.043 g, and 22.93 cm respectively. The aquaponic system reported a relation of 0.145, while the conventional system reached a relation of 0.019.

In conclusion, aquaponic systems represent a good alternative for optimized utilization of water resources and increase production of trout and lettuce thanks to the design and maintenance of efficient treatment units.

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura hoy en día es una de las alternativas alimenticias que en los últimos años ha tenido un rango de crecimiento significativo dados los rendimientos productivos y su fuente nutricional, no obstante esta actividad genera una alta carga contaminante directamente del alimento no consumido y desechos fisiológicos provocando alteraciones a las fuentes naturales.¹

Los sistemas de recirculación acuícola (RAS) son maneras eficaces de reutilización del recurso hídrico reduciendo la contaminación, uno de los procesos es el aprovechamiento de los nutrientes disueltos en el agua y que son aprovechados para el cultivo de especies vegetales obteniendo una biomasa adicional que ayudan a disminuir la carga contaminante por medio de la absorción de nutrientes, antecedida por bacterias en el proceso de oxidación; los peces excretan nitrógeno en forma de amoníaco, siendo tóxico para los peces y por medio de procesos de nitrificación se reduce a nitrato que es menos tóxico para los peces y más asimilable para las plantas.²

En un sistema de acuaponía las plantas recuperan un porcentaje de estos nutrientes por lo tanto se reduce la necesidad de vertimiento de efluentes al medio ambiente e incrementa la vida útil del líquido para el RAS.³

Lo que se buscó con esta investigación fue definir de forma preliminar la remoción de los compuestos nitrogenados en un sistema acuícola convencional y compararlo con un sistema acuapónico en el cual se utilizaron dos tipos de sustratos; se evaluó variable productivas como lo son incremento de peso, incremento de talla, supervivencia y el comportamiento de algunos de los parámetros fisicoquímicos principales que involucran los sistemas acuapónicos como lo son pH, temperatura, oxígeno y conductividad

¹ **FAO (Food and Agriculture Organization)**, El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Roma 2012,p 3

² Ibid., p 14

³ **COLAGROSSO**,Alessandro, Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala, Manual de desarrollo de cultivo acuapónico, 2014 p

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de remoción de amonio, nitritos y nitratos en un sistema acuícola convencional vs un sistema acuapónico para el cultivo de trucha.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la eficiencia de remoción de amonio, nitritos y nitratos en un sistema acuícola convencional
- Medir la eficiencia de remoción de amonio, nitritos y nitratos en el sistema acuapónico utilizando dos sustratos cascarilla de arroz, fibra de coco y sin sustrato.
- Comparar las variables: Incremento de peso, Incremento de talla, porcentaje de supervivencia en los dos sistemas de cultivo a utilizar.
- Realizar un análisis beneficio-costos para cada sistema.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 ACUAPONÍA

La acuaponía es el nombre que se da a la integración de la acuicultura y la hidroponía, en la que se cultivan peces y plantas en un sistema de recirculación cerrado. Los avances tecnológicos en estos sistemas, estimularon el interés en la acuaponía como un medio potencial para incrementar los ingresos mientras se utilizan algunos de los productos de desecho, esta actividad está ganando atención como un sistema biointegrado de producción de alimentos, y que podría realizarse en los sistemas de circulación cerrados de acuicultura. En este sistema, las raíces de las plantas remueven los nutrientes del agua. Estos nutrientes (generados por las heces de los peces, algas y la descomposición de los alimentos) son contaminantes que, si no se remueven, pueden alcanzar niveles tóxicos para los peces. Por otro lado, en un sistema acuapónico, estos sirven como fertilizante líquido para el crecimiento hidropónico de las plantas y en el caso de las camas hidropónicas, éstas, funcionan como un biofiltro, mejorando la calidad del agua, que será recirculada nuevamente⁴.

Los sistemas acuícolas generan continuamente grandes cantidades de desechos que pueden aprovecharse y obtener otro cultivo que genere a su vez una ganancia adicional. Esto ya se ha desarrollado durante muchos años con la creación de “plantas de tratamiento” a partir de humedales, en donde se les hacían llegar los efluentes para que las plantas procesaran el agua; la idea principal es brindar los mismos beneficios con hidroponía y generar beneficios económicos. En términos generales, se ha reportado que por cada tonelada de pescado que se produce por acuaponía por año, se pueden llegar a producir más o menos siete toneladas de algún cultivo, ya sea lechuga o albahaca; se han reportado que los tratamientos convencionales de las descargas de la acuicultura, representan un significativo costo adicional siendo la acuaponía una alternativa de tratamiento de las descargas de la acuicultura, más económica y rentable.⁵

La acuaponía es un medio potencial para incrementar los ingresos mientras se utilizan algunos de los productos de desecho teniendo en cuenta que en el agua de los estanques de peces se encuentran disueltos 10 de los 13 nutrientes esenciales que las plantas necesitan. Las concentraciones de calcio, potasio y hierro son inferiores a las requeridas por las plantas y pueden suplirse al sistema acuapónico en forma de hierro (EDTA Fe), hidróxido de calcio y potasio, estos

⁴ COLAGROSSO, Alessandro, Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala, Manual de desarrollo de cultivo acuapónico, 2014 p 2

⁵.Ibid., p 23

últimos dos también actúan como regulador del pH en caso de acidificación del agua.⁶

3.2 LA ACUICULTURA EN EL MUNDO

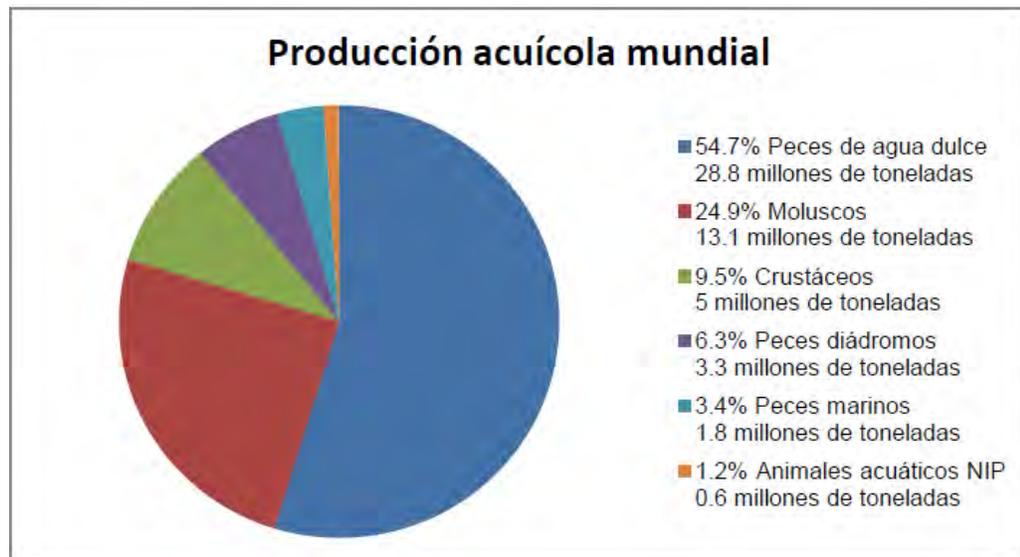
La acuicultura es el sector productivo de más rápido crecimiento y con mucho potencial, además, debido al crecimiento de la población se pronostica que para el año 2030 se requerirán de 40 millones de toneladas de alimento de origen acuático para mantener el consumo actual per cápita, la producción acuícola mundial de pescado comestible, incluidos los peces de aleta, los crustáceos, los moluscos y otros animales acuáticos destinados al consumo, alcanzó los 52,5 millones de toneladas en 2008; la contribución de la acuicultura a la producción total de la pesca de captura y la acuicultura continuó aumentando y pasó del 34,5 % en 2006 al 36,9 % en 2008.

La demanda mundial de productos pesqueros ha incrementado en las últimas tres décadas, entre los factores que han ayudado a este importante crecimiento se encuentran el aumento de la población y del consumo per cápita de pescado, que ha pasado de 11 kg/persona/año en 1970 a casi 16 Kg en el año 2000. La acuicultura mundial ha crecido enormemente en los últimos 50 años, de una producción menor a 1 millón de toneladas a principios de 1950 a 52.5 millones de toneladas en el 2008, con un valor de \$98,400 millones de dólares, además, ha aumentado a un ritmo tres veces mayor que la producción mundial de carne (2.7 % contabilizando el ganado avícola y vacuno juntos) en el mismo periodo y a diferencia de la producción mundial de la pesca de captura, la cual no ha aumentado desde mediados de la década de 1980, el sector acuícola ha mantenido un índice de crecimiento medio anual del 8,3 % en todo el mundo. En 2008, los 15 productores principales generaron el 92.4 % de la producción mundial de pescado comestible procedente de la acuicultura.(Figura 1)⁷

⁶ RUBIO. Impacto ambiental de la acuicultura, el estado de la investigación en Chile y el mundo, Diciembre 2001. Disponible en Internet: www.terram.cl.

⁷ FAO (Food and Agriculture Organization), El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Roma 2012, p 3

Figura. 1. Producción acuícola mundial



Fuente: FAO (Food and Agriculture Organization), El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Roma 2012

3.3 ACUICULTURA EN COLOMBIA

La acuicultura en Colombia se inició a finales de los años 30 del siglo pasado, cuando fue introducida la trucha arco iris (*Onchorhynchus mykiss*) con el fin de repoblar las lagunas de aguas frías de la región Andina con una especie íctica de mayor valor económico que las nativas. Posteriormente, a finales de los 70 se introdujeron las tilapias (*Oreochromis sp*) y a principios de los años 80 se iniciaron trabajos con algunas especies nativas, principalmente con las cachamas blanca (*Piaractus brachypomus*) y negra (*Colossoma macropomum*), con el fin de fomentar actividades encaminadas a diversificar las fuentes de ingreso de los pequeños productores campesinos.⁸

Estos esfuerzos se realizaron inicialmente por la Federación Nacional de Cafeteros y más tarde, por el Programa de Desarrollo Rural Integrado - DRI. Pero sólo a mediados de la década de los 80 se iniciaron procesos encaminados a formar empresas acuícolas, primero en el cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*) y un poco más tarde en la piscicultura comercial con especies foráneas como las tilapias, la trucha arco iris y la carpa común (*Cyprinus carpio*) y con nativas como las cachamas. La producción de la acuicultura nacional en el 2011

⁸ **MERINO, Claudia; SALAZAR, Gustavo y GÓMEZ Diana.** Guía práctica de piscicultura en Colombia. Bogotá: INCODER, 2006. p 37.

fue de 82 733 toneladas, de las cuales más de la mitad correspondió a las tilapias roja y plateada, casi un 20% a las cachamas blanca y negra, cerca de un 7% a trucha, 10% a camarón, un poco más del 0,13% a cobia (*Rachycentrum canadum*) y el resto a otras especies nativas y exóticas. Tradicionalmente la producción piscícola ha sido para el mercado nacional, pero a partir del 2008 las exportaciones se han ido incrementado considerablemente; por su lado, la producción de camarón de cultivo hasta ese mismo año fue principalmente para exportación y, a partir de entonces, por problemas asociados con la reducción de precios en el exterior, ese mercado ha disminuido significativamente para la producción local.⁹

La cantidad de acuicultores en el país se calcula en alrededor de 29 400 de los cuales, más del 99% son piscicultores y de ellos, un poco más del 90% son Acuicultores de Recursos Limitados – AREL. La actividad aporta cerca del 0,7% del PIB nacional. Para el Gobierno Nacional de Colombia, la Pesca y la Acuicultura representan dos importantes elementos para el desarrollo productivo del sector agropecuario, así como para mejorar los índices de pobreza en las zonas rurales. En tal sentido, han sido muchos los apoyos que se le han dado a la actividad, los cuales incluyen asistencia técnica, beneficios crediticios, subsidios a través de convocatorias de fomento, programas de fortalecimiento del subsector y otros que se mencionarán en este documento.¹⁰

Sin embargo, si bien es cierto que la actividad tuvo un crecimiento acelerado entre los años 80 del siglo XX y la primera década del siglo XXI, también es cierto que dicho crecimiento se ha desarrollado de forma desordenada, descoordinada y sin una planificación adecuada, razón por la cual los acuicultores han tenido innumerables problemas de orden técnico, económico, social y ambiental, siendo así que en los últimos 5 años se ha visto un marcado decrecimiento en el cultivo de camarón y el apareamiento de signos recesivos en la piscicultura, especialmente por el crecimiento de los costos de producción frente a un prolongado estancamiento de los precios de los productos finales; estos problemas deben ser analizados con el fin de organizar un Plan de desarrollo que permita que la acuicultura se convierta en un motor de crecimiento del sector agropecuario en el país.¹¹

3.4. SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

Para lograr la sustentabilidad en los cultivos acuícolas es necesario intensificar los cultivos, valiéndose de tecnología como los sistemas de recirculación de agua

⁹ Ibid., p. 38.

¹⁰ FAO, 2012, Op. Cit., p 3

¹¹ GALLI, M. O., Miguel. S. F.,. Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. CENADAC (Santa Ana-Corrientes) 2007

(RAS) y tratamiento de la misma, optimizando un recurso tan valioso. La utilización de la tecnología en el tratamiento del agua tiene como ventajas: un monitoreo y control constante de las variables físico-químicas y sanitarias del agua, la reutilización del agua, producciones de altas densidades¹².

Los sistemas de recirculación de agua son sistemas de cultivo en los que una porción o toda del agua se procesan a través de sistemas de filtración para restaurar la calidad del agua y luego es reciclada hacia los tanques. La utilización de los filtros en la acuicultura, tiene como objetivo la eliminación de sustancias y organismos indeseables en el agua de cultivo. Para la acuicultura, el nitrógeno es de central preocupación como componente de los residuos generados en la crianza de peces. En particular, los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces. La descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante en sistemas de recirculación debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y nitrato¹³.

La filtración biológica puede ser una medida efectiva para controlar el amoníaco; en comparación con el recambio del agua, para controlar sus niveles. La capacidad de remoción de amoníaco de los filtros biológicos es ampliamente dependiente de la superficie total disponible para el desarrollo de las bacterias nitrificantes. Para una eficiencia máxima, el medio de soporte usado debe balancear una alta superficie específica (superficie por volumen de unidad) con una suficiente fracción de hueco para un adecuado comportamiento hidráulico. El medio usado en los biofiltros debe ser inerte, no compresible, y no degradable biológicamente. Los más utilizados en biofiltros en acuicultura son arena, roca molida o ripio de río, algunas formas de material plástico o cerámico en forma de pequeños gránulos o grandes esferas, anillos¹⁴.

3.5. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS.

Pedreira¹⁵, menciona que en un sistema de recirculación, se utilizan los biofiltros para reducir las concentraciones de amoníaco a través de la oxidación a nitrato por acción de las bacterias nitrificantes. “se utilizan los biofiltros con el fin de minimizar la eutrofización del tanque de cultivo, y tiene que ver con la eliminación

¹² **FAO**, 2012, Op. Cit., p 18.

¹³ **GALLI, M. O.**, 2007, Op. Cit., p 18.

¹⁴ **GALLI, M. O.**, 2007, Op. Cit., p 16.

¹⁵ **PEDREIRA, M., KENNEDY, R, DOS SANTOS, E., SAMPAIO, J., VIERA, E. y SA FORTES, R.** Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura do pacama. En: Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v,44, n..5, maio 2009 p. 511-518. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n5a11.pdf>.

de la materia orgánica e inorgánica principalmente en la relación con el nitrógeno, además mantener la calidad del agua.

Arredondo *et al*¹⁶., afirman que un sistema cerrado requiere de un periodo de estabilización previo a la introducción de organismos, una vez alcanzado el sistema operativo aceptable se espera un cambio en el comportamiento de las variables abióticas cuando se introducen los organismos, se realizan recambios de agua y en ocasiones que se efectúa el recambio o lavado de filtros, altera el comportamiento de los compuestos nitrogenados y el pH del sistema.

La contaminación proviene de los peces y el alimento no consumido, la cantidad de desechos producidos son diferentes, están en función de la temperatura del agua, debido a que los peces aumentan su metabolismo cuando esta incrementa, por ejemplo el amoníaco es de 2 a 3% de la alimentación por día¹⁷.

3.5.1. Biofiltración. El proceso de remoción amoniacal en un filtro biológico se denomina nitrificación, y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco primero a nitrito y finalmente a nitrato.

Galli-Merino y Miguel-Sal¹⁸ afirman que la filtración biológica puede ser una medida efectiva para controlar el amoníaco; en comparación con el recambio del agua para controlar niveles.

3.5.2. Nitrificación. Pereira y Mercante¹⁹ mencionan que el amoníaco es el principal producto final del catabolismo de la proteína y es excretado por los peces como amoníaco NH₃ a través de las branquias. El amoníaco existe en dos formas: ionizado y no ionizado, la suma de las dos formas se denomina nitrógeno amoniacal total (NAT).

El nitrito es un producto intermedio en el proceso de nitrificación del amoníaco a nitrito, a pesar que es usualmente convertido en nitrato tan pronto como se produce, la falta de oxidación biológica del nitrito resultara en niveles elevados que pueden ser tóxicos para los peces; las altas concentraciones de este indican una inminente falla en el biofiltro.

¹⁶ **ARREDONDO, L., VALDIVIA, H., HERNÁNDEZ, L. y CAMPOS, R.** Evaluación del crecimiento, factor de conversión de alimento y calidad del agua del cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema cerrado. Hidrobiológica 6 (1-2). Universidad Autonoma Metropolitana Iztapalapa. D.F Mexico. 1996 p 59-65.

¹⁷ **WHEATON, F.** Recirculating Aquaculture Systems: An Overview of Waste Management. Department of Biological Resources Engineering. University of Maryland. p. 57-68.

¹⁸ **GALLI-MERINO, O. y MIGUEL-SAL, O.;** Sistemas de recirculación y Tratamiento de agua (SENEDAC); Argentina-Santa Ana; 3007. P. 18-20. Disponible en: <http://www.minagri.gob.ar>

¹⁹ **PEREIRA, L. y MERCANTE, C.** A amónia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. En: Inst. Pesca, Sao Paulo, 31(1). 2005 p. 81-88.

El nitrato es el producto final de la nitrificación y es el menos tóxico de los compuestos. En sistemas de recirculación, los niveles de nitrato están controlados por los recambios diarios de agua.

3.6. HIDROPONÍA

Es el cultivo de plantas, principalmente hortalizas, sin usar suelo, que es substituido por un sustrato sólido constituido por materiales inertes como en el sistema de camas, o por agua como en el caso del sistema de raíz flotante y del sistema de solución nutritiva recirculante, este último también conocido como NFT. (nutrient film technique), por su sigla en inglés;. Por ser inerte el sustrato de cultivo, las plantas hidropónicas se alimentan con una solución nutritiva en la cual se disuelven en agua las sales minerales que aportan a las plantas todos los elementos necesarios para su desarrollo.²⁰

3.6.1. Sistema de camas con sustrato sólido: En este sistema se utiliza un medio sólido (sustrato) para el soporte de las raíces de las plantas. El sustrato tiene varias funciones sirve de anclaje a las plantas, protege a las raíces de la luz solar, retiene cierta cantidad de humedad y solución nutritiva y permite la oxigenación de las raíces por medio de los espacios que se forman entre las partículas. Además en los sistemas acuapónicos, el sustrato suficientemente poroso es el lugar donde se desarrollan las bacterias nitrificadoras. El sistema de camas con sustrato sólido es el sistema más utilizado en hidroponía popular y en acuaponía. La utilización del sustrato solido evita la necesidad de construir un biofiltro, bajando así los costos de producción. Los contenedores más utilizados en este sistema se llaman camas y se pueden observar en la (figura 2)²¹.

Figura 2. Sistema de camas con sustrato solido



Fuente COLAGROSSO 2014

²⁰ SOTO BRAVO, F; RAMÍREZ AZOFEIFA, M. 2002. Hidroponía. San José, CR, Instituto Nacional de Aprendizaje. 109 p.

²¹ COLAGROSSO, 2014, Op. Cit, p17.

3.6.2. Sistema de raíz flotante. Esta técnica no requiere de sustrato sólido, las raíces de las plantas permanecen en contacto con el agua (Figura 3) que debe ser oxigenada diariamente. La oxigenación puede ser aplicada manualmente o a través de bombas de aire. Este sistema es utilizado en acuaponía a mediana y larga escala y si bien no necesita de sustrato sólido, es necesario añadirle un biofiltro. Además, a diferencia de las camas hidropónicas de raíz flotante, las utilizadas en acuaponía necesitan una entrada y una salida de agua, para la recirculación de la misma.²²

Figura 3. Sistema de raíz flotante.



Fuente COLAGROSSO 2014

3.6.3. Sistema de solución nutritiva recirculante. Es el sistema de cultivo hidropónico más utilizado a nivel comercial, en la producción a gran escala es de alta eficacia, pero al mismo tiempo es el más complejo y costoso. Para el correcto funcionamiento de este sistema se necesita de un tanque para almacenar la solución nutritiva, un sistema automatizado de bombeo y de un sistema de tubos interconectados a los cuales se le han realizados orificios para asentar las canastillas que contendrán las plantas (figura 4) Es el único sistema hidropónico donde el agua recircula: sale del tanque, se distribuye a las plantas para luego regresar nuevamente al tanque. Para su uso como sistema acuapónico, es necesario añadir un biofiltro al igual que en el sistema de raíz flotante, porque también carece del sustrato sólido en el que pueden albergarse las bacterias nitrificadoras²³.

²² Ibid, p. 18.

²³ COLAGROSSO, 2014, Op. Cit, p.20.

Figura 4. Sistema de solución nutritiva recirculante.



Fuente COLAGROSSO 2014

3.7 GENERALIDADES DE LA TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

La trucha “arco iris” (*Oncorhynchus mykiss*), es una especie íctica perteneciente a la familia Salmonidae, originaria de las costas del Pacífico de América del Norte, que debido a su fácil adaptación al cautiverio, su crianza ha sido ampliamente difundida casi en todo el mundo. En América del Sur, se encuentra distribuida en Argentina, Brasil, Bolivia Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.²⁴

La introducción de esta especie en el Perú tuvo lugar en el año 1928, desde los Estados Unidos de Norteamérica, con una cantidad de 50,000 huevos, los mismos que fueron instalados en un criadero a orillas del río Tishgo, en La Oroya – Junín, distribuyéndose a los ríos y lagunas de Junín y Pasco. En 1930 fueron transportados 50 truchas adultas a la Estación Piscícola El Ingenio. En 1941 fueron transportadas 25,000 huevos de trucha desde la Estación Piscícola El Ingenio a la Estación Piscícola de Chucuito – Puno, poblándose todo el sistema hidrográfico del Lago Titicaca y otras lagunas, como la de Languilayo - Cusco, donde inicialmente se llegaron a sembrar 2,000 alevines de esta especie; a partir de estas fechas se han venido poblando paulatinamente ríos y lagunas de varios departamentos de la sierra en forma natural o artificialmente.

A partir de la década del 70, se comenzaron a instalar varias piscigranjas o centros de cultivo de peces, los cuales fueron construidos siguiendo sistemas tradicionales de crianza, utilizando estanques de concreto; actualmente con los avances en la técnica y nuevas tecnologías de cultivo, la truchicultura se viene constituyendo en una alternativa para la producción masiva de pescado fresco, así como para la generación de puestos de trabajo de manera directa e indirecta.²⁵

²⁴ RAGASH, MANUAL DE CRIANZA TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*).Perú, 2009 p.3.

²⁵ Ibid., p.4.

3.7.1 Clasificación taxonómica Según Camacho et al., (2000)²⁶ En el siguiente esquema se presenta la clasificación taxonómica de la trucha arco iris

Clasificación taxonómica de la trucha arco iris.

Reino: Animal
Phylum: Chordata
Subphylum: Vertebrata
Superclase: Pisces
Clase: Osteichthyes
Subclase: Actinopterygii
Orden: Salmoniformes
Familia: Salmonidae
Género: Oncorhynchus
Especie: mykiss
Nombre científico: Oncorhynchus mykiss
Nombre común: Trucha arco iris

3.7.2. Parámetros de calidad de agua para trucha arcoíris (o. mykiss) bajo condiciones controladas. Los rangos óptimos para el cultivo de trucha arco iris según RAGASH son:²⁷ (Tabla 1)

Tabla 1. Parámetros para Trucha arcoíris

Parámetro	Rango Óptimo
Temperatura del agua	9-18
Oxígeno Disuelto	>5,5 ppm
pH	6-9,5
Amonio NH3	>1 mg/L
Nitratos	No mayor de 100 mg/L
Nitritos	No mayor de 0,055 mg/L

3.8 LECHUGA ROMANA ACRÓPOLIS (*Lactuca sativa*)

Es una hortaliza anual típica de climas frescos. Los rangos de temperatura donde la planta crece en forma óptima, están entre los 15 °C y 18° C, con temperatura

²⁶ CAMACHO, E.; MORENO, M. A.; RODRÍGUEZ, M.; LUNA, C.; VÁZQUEZ M. Guía para el cultivo de trucha. Impresora Marte. México.2000, p 1-137.

²⁷ RAGASH, Op Cit., p. 8-9.

máximas de 21°C - 24 °C y mínima de 7° C. Las temperaturas altas aceleran el desarrollo del tallo floral y la calidad de la lechuga se deteriora rápidamente, debido a la acumulación de látex amargo en su sistema vascular. Es una planta herbácea, que posee un sistema radicular profundo y poco ramificado con hojas lisas, sin peciolos. Tiene usos principalmente alimenticios y medicinales como narcótico o calmante. El intervalo de temperatura para su desarrollo es entre 13 y 25 °C siendo la óptima entre 16 y 22 °C. Crece en suelo con un intervalo de pH de 6.0 a 6.8 y es considerada como una hortaliza ligeramente tolerante a la acidez.²⁸

3.8.1 Clasificación taxonómica la clasificación de lechuga es la siguiente:

Reino: Plantae

Clase: Magnoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: Lactuca L., 1753

Especie: sativa L., 1753

3.9 SUSTRATOS

Los sustratos constituyen el lecho que sirve de sostén y soporte para el desarrollo del sistema radicular de las plantas. Este elemento reviste una gran importancia en el éxito del cultivo²⁹.

Los sustratos para hidroponía deben ser sustratos estériles o que permita su esterilidad, que sus propiedades físicas no se alteren en corto tiempo, deben permitir una buena oxigenación, deben poseer excelente drenaje, buena capacidad de retención de humedad y ser de forma homogénea.

Los sustratos se podrían clasificar en dos grupos:

- Sustratos inorgánicos inertes
- Sustratos orgánicos

²⁸ **KAMUEZ, N.;** Sánchez, O.; Tesis de Grado: Respuesta de dos variedades de lechuga Lactuca a dos soluciones nutritivas y tres mezclas de sustratos en condiciones hidropónicas. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto 1993.

²⁹ **MORA** Luis. INDAGRO. Sustrato para cultivos sin suelo hidroponía 0 Disponible en internet::http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_095.pdf

3.9.1 Sustratos inorgánicos. En este grupo podemos indicar, las gravas (partículas de más de 2 mm de diámetro) que incluye roca volcánica, polvo de piedra, escoria de ladrillo, carbón, y arena.

3.9.2 Sustratos orgánicos. En este grupo se ubican una serie de sustratos de producción e importados de otros países, cascarilla de arroz, fibra de coco, cascarilla de pergamino de café, concha de coco.

3.9.2.1 Fibra de coco. Procedente del mesocarpio del coco o la parte no comestible del coco; la fibra de coco tiene una buena capacidad de retención de la humedad, es liviano y poroso, además, fue sometida a varios lavados en un tanque de 200 litros con abundante agua y finalmente se dejó al sol con el fin para eliminar taninos, sales como sodio y cloruros y se procedió a solarizar el material durante 8 días.

3.9.2.2 Cascarilla de arroz. La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, para su utilización se debió realizar varios lavados para eliminar taninos, residuos de plaguicidas, así desinfectar y quitar algunas impurezas; es un sustrato liviano y con buen drenaje. (Figura 5)

Figura 5. Sustratos orgánicos, fibra de coco (izquierdo), cascarilla de arroz (derecho)



4. METODOLOGÍA

4.1. LOCALIZACIÓN

El montaje del Sistema se realizó en el laboratorio de hidráulica (Figura 6) del programa de Ingeniería en Producción Acuícola, en la Universidad de Nariño, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de San Juan de Pasto, con coordenadas geográficas: 1°12'52.48" Norte, 77°16'41.22" oeste a 2527 msnm, temperatura promedio de 13.3°C y una humedad relativa de 60 a 88%. El laboratorio presenta un área aproximada de 86.34m² y una temperatura ambiente de 13°C en su parte más fría y 23°C en la parte más alta³⁰.

Figura 6. Laboratorio de hidráulica



4.2. PERIODO DE ESTUDIO

La investigación tuvo una duración de cinco meses, tiempo en el cual se realizó la elaboración y adecuación del sistema de recirculación, hidropónico, acuapónico convencional, y obtención del material biológico.

4.3 INSTALACIONES

La ejecución del proyecto se realizó en el laboratorio de Hidráulica del Departamento de Recursos Hidrobiológicos el cual cuenta con un sistema de agua potable e instalaciones eléctricas; se utilizó un sistema de recirculación, para la técnica de acuaponía.

³⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS. San Juan de Pasto República de Colombia, 2014. Disponible en internet, URL:<http://www.sgc.gov.co/getattachment/Pasto>

4.4 MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS

4.4.1 Materiales. Los materiales utilizados en esta investigación se describen a continuación:

Acrílico de 5,5 mm
Tubería PVC de 1 1/2
Mangueras negras
2 Tanque plástico de 1000 L
2 Tanques plásticos de 500L
1 tanque de 250 L
1 Tanque de 90 L
Nasas 6”
Balde plástico de 12 L
Silicona
Pistola de silicona
Alambre Galvanizado
Plástico color azul
Aluminio
Vasos de icopor

4.4.2. Equipos: Se utilizaron los siguientes:

Oxímetro YSI 550 A
Balanza SCOUT SP 4001
Colorímetro DR 890
Motobomba HQB-3500, H Max 3,5 mt y Q Max de 3000 l/h
Blower RESUM LP 60

4.4.3. INSUMOS: Se utilizaron los siguientes:

Hipoclorito
Eugenol
Alimento comercial 45%
Sustratos (fibra de coco- Cascarilla de arroz)
Sal marina

4.4.4 Material biológico. Se utilizaron 150 ejemplares de Trucha arcoíris cultivada en el corregimiento del encano municipio de pasto, Nariño con un peso promedio 15,36 g y una talla de 10,7 cm, utilizándose 75 ejemplares para cada sistema; de igual manera se dispuso de 135 plántulas de Lechuga (*Lactuca sativa*) obtenidas en un vivero comercial en el corregimiento de Obonuco, Pasto, Nariño, con una

edad de 25 días al momento del trasplante, con buenas condiciones de crecimiento, desarrollo fisiológico y de sanidad.

4.5 PLAN DE MANEJO

El plan de manejo inicio con la adecuación del sistema de recirculación para el sistema acuapónico; previo a esto se desinfectó cada unidad experimental con hipoclorito de sodio a una concentración de 2000 ppm, utilizando un atomizador; para desinfectar la tubería del sistema se agregó 3 mg/L de KMnO₄ (Permanganato de potasio) y 0,6 g/L de NaCl (sal marina) y se eliminó enjuagando con abundante agua.

4.5.1 Caja de Nivel Constante. Se elaboró en acrílico de 55 mm de espesor y consta de tres cámaras; la primera cámara correspondió a una zona de quietamiento donde se dispuso una placa con orificios de 1/4" de diámetro para garantizar un flujo homogéneo; la segunda cámara se colocaron nueve (9) dispositivos de salida para distribución de los caudales hacia los diferentes tubos y posteriormente al tanque de cultivo de trucha arcoíris. La tercera cámara fue la de excesos, donde mediante una manquera de 3/4" se devuelve el líquido desde el sumidero hasta la caja de nivel, repitiendo así el proceso de recirculación.

4.5.2. Sistema de transporte de flujo. Se utilizó tubería de PVC y manguera para el transporte a flujo libre como a presión, por gravedad y por bombeo. La manguera que se utilizó para la distribución del agua de la caja de nivel constante a las unidades experimentales tuvo un diámetro 1".

4.5.3. Tanque de cultivo. Se utilizaron dos tanques de 1000 litros cada uno donde se sembraron los ejemplares de trucha arcoíris para los dos sistemas, previa desinfección

4.5.4. Clarificador. Tanque de 250 L, el cual recibió el agua proveniente del tanque de cultivo por medio de tubería con el fin de sedimentar los sólidos.

4.5.5. Sumidero. Tanque de 90 litros que recibió el agua proveniente del clarificador y mediante una motobomba de 2 Hp se condujo el agua a una caja de nivel constante.

4.5.6. Motobomba. Se contó con una electrobomba hidráulica HQB-3500, altura max 3,5 mt y caudal maximo de 3000 l/h, su función fue bombear el flujo de agua hasta la caja de nivel constante.

4.5.7. Unidad de aireación. Se contó con dos equipos blower uno marca RESUM LP 60 o generadores de aire con una potencia de 0,5 HP para cada sistema, ubicados sobre una base de metal a tres m de altura.

4.5.8 Unidades experimentales. Para el sistema acuapónico se utilizó 9 tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro cada una y tres metros de largo, que sirvieron de soporte para la siembra de lechugas en orificios de dos pulgadas cada veinte cm para un total de 15 plantas por cada tubo; a este sistema lo soportó dos estantes de hierro manejando una pendiente del 2% con el fin de facilitar el riego y el drenaje.

4.5.9 Descripción general del sistema acuapónico. El sistema contó con un tanque de cultivo de 1000 litros, primero, mediante flujo ascendente el agua paso a un tanque clarificador de 250 L, posteriormente mediante flujo descendente a través de tubería de 1 ½" paso a un sumidero (tanque de 90L), desde el cual con una motobomba de 2 HP se condujo el agua a una caja de nivel constante ubicada a una altura de dos metros donde por gravedad el agua circuló al sistema hidropónico. (Figura 7). El caudal requerido para este sistema fue de 6 L/min y por cada unidad experimental se manejó un caudal de 0,67 L/min.

Figura 7. Sistema acuapónico

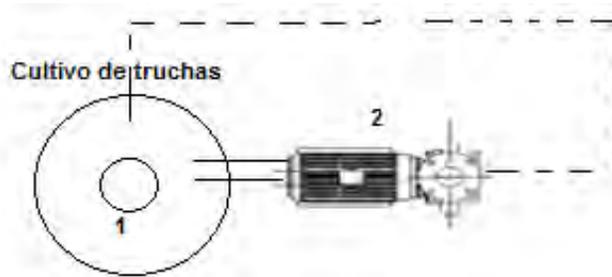


**4.5.10
general del**

convencional. Para el sistema acuícola convencional (figura 8) se manejó un tanque de cultivo de 1000 litros, con aireación constante por blower marca RESUM LP 60 o generadores de aire con una potencia de 0,5 HP, el propósito de este sistema era la comparación de variables productivas frente al sistema acuapónico y la evaluación de la calidad del agua respecto a la remoción de amonio, nitrito y nitrato.

**Descripción
sistema acuícola**

Figura 8. Sistema Acuícola Convencional.



4.6 TRANSPORTE Y ACLIMATACIÓN DE LOS ANIMALES.

Previo al transporte de los 150 animales, estos fueron puestos en ayuno con el fin de evitar el aumento de consumo de oxígeno disuelto y la eliminación de desechos los cuales disminuyen la calidad del agua en las bolsas de transporte, el transporte se realizó desde el corregimiento del Encano (Empresa truchas Sindamanoy), hasta el laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Nariño; se utilizó bolsas plásticas calibre 2 mm con capacidad de 20 litros a relación 1/3 de agua, por 2/3 de oxígeno como lo recomienda Wedler³¹ (Figura 9); en el laboratorio, los animales fueron puestos en un tanque donde se realizó la respectiva aclimatación para equilibrar la temperatura y pH (Figura 10).

Figura 9. Transporte de animales



³¹ **WEDLER, E.** Introducción en la Acuicultura con énfasis en los Netrópicos. Primera Edición., Santa Marta, Col. 1998. P 324.

Figura 10. Aclimatación de los animales.



4.7 ALIMENTACIÓN.

Se utilizó concentrado comercial extruido al 45% de proteína, la cantidad a suministrar se calculó teniendo en cuenta la conversión alimenticia, el factor de condición, la temperatura y la población, de acuerdo a los modelos de crecimiento recomendados por Timmons³² y blanco³³. Se alimentó con una frecuencia de 6 veces por día en intervalos de 2 horas, empezando a las 8 am y finalizando a las 6 pm.

4.8 MUESTREO

Una vez por semana se realizaron muestreos de los animales, (figura 11) colectando al azar mediante una nasa los ejemplares de cada sistema, se cuantificó peso, talla y se realizó un análisis organoléptico de los peces con ayuda de anestésico a base de clavo de olor (eugenol) en dosis de 1ml de eugenol por galón de agua, recomendadas por, Arzú y Muhammed³⁴ quienes demostraron en su estudio el efecto y eficiencia del clavo de olor como anestésico.

Los animales fueron transferidos a baldes de 12 litros, provistos de aireación, y se procedió a medir las variables a evaluar, los datos obtenidos se consignaron en la respectiva bitácora.

³² **TIMMONS**, *et al.* Opc.,cit., p. 104-223.

³³ **BLANCO, C.** La trucha arcoíris, cría industrial. 2^a ed. Ediciones Mundiprensa. 1005. 503 p.

³⁴ **ARZU, U. y MUHAMMED, A.** The effects of natural (clove oil) and synthetical (2-phenoxyetthanol) anesthesia substances on hematology parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brow trout (*Salmo trutta fario*). Journal of animal and veterinary advances 9 (14): Faculty of aquaculture eninereng. Ataturk University. Erzurum, Turkey. 2010. 1925-19933p.

Figura 11. Muestreos de animales



4.9 ADECUACIÓN DE SUSTRATOS EN TUBOS PVC.

Una vez montado y probado el sistema Acupónico se procedió a la incorporación del sustrato en los tubos de PVC de manera aleatoria. Tubos 1, 4 y 8, fibra de coco; 3, 6 y 9, cascarilla de arroz y 2, 5 y 7 sin sustrato con la ayuda de un embudo provisional. (Figura 12).

Figura 12. Incorporación de los sustratos



4.9.1 Trasplante de lechugas. Una vez llegadas las lechugas al laboratorio de hidráulica se colocó cada una en un vasos de icopor pequeño, los cuales tenían un orificio en el fondo con el fin de dejar la raíz flotando y así lograr que esta se fije con el sustrato de los tubos. (Figura 14).

Figura 14. Trasplante de lechugas



4.9.2 Siembra. Las plantas fueron trasplantadas en el contenedor (tubo de PVC) del sistema acuapónico, en el cual estaban los sustratos debidamente lavados (fibra de coco, cascarilla de arroz), desinfectadas y humedecidas con anterioridad al trasplante. (Figura 14).

Figura 14. Siembra de las lechugas en el sistema.



4.10 MONITOREO CALIDAD DE AGUA.

La medición de pH, oxígeno disuelto y temperatura se tomaron diariamente en el tanque de cultivo de los dos sistemas (Tabla 2).

Los parámetros de amonio, nitrito y nitrato se tomaron en entradas y salidas de cada sistema, para el análisis se tomó 1 L de agua de los dos sistemas las cuales fueron llevadas al laboratorio de Calidad de Aguas de Ingeniería en Producción Acuícola para su lectura con ayuda del colorímetro, para la medición de amonio se manejó el método 8155 USEPA el cual maneja tres decimales de sensibilidad, para el nitrito se utilizó el método 8153 con dos decimales de sensibilidad y para nitratos se utilizó el método 8039 el cual maneja dos decimales de sensibilidad, estos parámetros se tomaron una vez por semana.

Tabla 2. Monitoreo parámetros físico-químicos, en los sistemas.

Parámetro	Unidades	Frecuencia
Oxígeno Disuelto	mg/L	Diaria
pH		Diaria
Temperatura	°C	Diaria
Nitritos	mg/L	1 x semana
Nitratos	mg/L	1 x semana
Amonio	mg/L	1 x semana

4.10.1 Monitoreo de caudales. Se realizaron aforos de caudal en la caja de nivel, con frecuencia de dos veces al día, con el fin de verificar y controlar los caudales requeridos para establecidos en cada unidad experimental en el sistema acuapónico.

4.11 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO Y CONVENCIONAL

4.11.1 Inicio y funcionamiento de los sistemas. Una vez construidos y montados los sistemas se los probó hidráulicamente, para verificar la presencia de posibles fugas y realizar las respectivas correcciones.

4.11.2 Periodo de maduración del sistema acuapónico. Se mantuvo el sistema en funcionamiento durante un tiempo de 20 días recomendado por Timmons *et al*³⁵, periodo en el que existe maduración de cada una de la unidades experimentales.

³⁵ TIMMONS, *et al.* Op. Cit., p. 209-210.

4.11.3 Monitoreo del sistema acuapónico. Se realizó diariamente en horas de la mañana revisando el nivel del agua en el tanque de succión y se procedió a realizar la reposición del agua, causada por pérdidas de evaporación, salpicaduras y fugas. Cuando se observó que los filtros estaban colmatados se paró el sistema para realizar el respectivo lavado. De igual manera se examinó cada una de las unidades experimentales con los diferentes sustratos evitando la colmatación del sustrato en la malla al final del tubo.

4.11.4 Monitoreo del sistema convencional. Al igual que en el sistema acuapónico se realizó la respectiva reposición de agua causada por efectos nombrados anteriormente.

4.12 DISEÑO EXPERIMENTAL.

4.12.1 Remoción. Para comparar la remoción de los diferentes compuestos nitrogenados se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con submuestreo, conformado por cuatro tratamientos:

T0: Sistema acuícola convencional.

T1: sistema acuapónico + cascarilla de arroz.

T2: Sistema acuapónico + fibra de coco.

T3: Sistema acuapónico sin sustrato

Los tratamientos T1, T2 y T3 con tres replicas cada uno; mientras que el sistema acuícola convencional careció de réplicas, sin embargo teniendo en cuenta que se adoptó un diseño experimental completamente aleatorizado, el cual permite realizar los cálculos de análisis de varianza con unidades faltantes, como un diseño parcialmente balanceado, tal como expresa Melo *et al*³⁶ quienes manifiestan como una ventaja del DCA; es que se ajusta a cualquier número de tratamientos y cada uno con igual o diferente número de réplicas, sin crear dificultades en el análisis.

El modelo aplicado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} + \eta_{ijk}$$

Y_{ijk} = Variable respuesta.

μ = media poblacional

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento

ε_{ij} = error experimental asociado a la j-ésima unidad experimental que recibió el i-ésimo tratamiento.

η_{ijk} = Error de muestreo, asociado a la k-ésima muestra

³⁶ ₉₁ MELO, Oscar; LOPEZ, Luis; MELO, Sandra. Diseño de experimentos: métodos y aplicaciones. Bogotá, D.C. Universidad Nacional de Colombia. 2007. p.160. ISBN 978 – 958 – 701 – 815 – 1.

k = unidad observacional.

4.12.1.2 Formulación de hipótesis: Las hipótesis a comparar serán:

$H_0: \mu T_0 = \mu T_1 = \mu T_2 = \mu T_3$ Ninguno de los tratamientos presenta diferencias significativas con respecto a la media de las variables evaluadas

$H_1: T_0 \neq \mu T_1 \neq \mu T_2 \neq \mu T_3$. Al menos uno de los tratamientos presenta diferencias significativas con respecto a la media de las variables evaluadas.

4.12.1.3 Variable a evaluar. La variable a evaluar será:

Eficiencia de remoción: Es el porcentaje de remoción de diferentes compuestos que se obtiene en entradas y salidas de un sistema de recirculación y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(\text{Entrada} - \text{Salida})}{\text{Entrada}} * 100$$

4.12.2 Comparación sistemas. Se realizó una prueba de hipótesis de dos muestras para comparar las variables productivas de los dos sistemas tanto inicial y final.

4.12.2.1 Formulación de Hipótesis. La hipótesis a comparar será:

Hipótesis Nula: el valor de la diferencia o radio $\Delta 0$ especificada por la hipótesis nula.

Media Muestra 1: la media de la primera muestra x^1 .

Media Muestra 2: la media de la segunda muestra x^2 .

Sigma Muestra 1: la desviación estándar de la primera muestra s_1 .

Sigma Muestra 2: la desviación estándar de la segunda muestra s_2 .

Se rechaza hipótesis nula, no existen diferencias estadísticas significativas.

No se rechaza hipótesis nula, existen diferencias estadísticas significativas.

4.12.2.2 Variable a evaluar. López³⁷, aplica los siguientes índices para la evaluación de aspectos productivos.

³⁷ LÓPEZ - M, J. Nutrición y alimentación acuícola. Editorial Universidad de Nariño, 2ª edición, Pasto, Colombia. 2011. P. 202-203.

Incremento de peso: Es el aumento de peso que presentan los individuos durante el período de estudio y se calcula por la diferencia entre el peso final y el peso inicial

$$IP = W_f - W_i$$

Dónde:

IP: Incremento de peso.

Wf: Peso final.

Wi: Peso inicial.

Incremento de Talla. Es el aumento de longitud que presentan los individuos durante el período de estudio y se obtiene mediante la diferencia entre la longitud inicial de la larva y la longitud de las larvas al final de la experiencia.

$$IL = l_f - l_i$$

Dónde:

IL: Incremento de longitud

ƒ : Talla final

li: Talla inicial

4.12.3 Supervivencia. se realizó una prueba de BrandSnedecor con el siguiente modelo matemático:

$$Xc^2 = \frac{\sum ai \times Pi - [p^{\wedge} \times \sum ai]}{p^{\wedge} \times q}$$

Dónde:

ai = número de éxitos en cada tratamiento (animales vivos)

pi = proporción de éxitos en cada tratamiento

p = proporción total de éxitos

q = proporción de fracasos (1- p)

4.12.3.1 Variable Supervivencia: Es el porcentaje de los animales que sobreviven al finalizar el período de estudio; es la relación entre el número inicial y el número final de animales por 100, se calcula mediante la siguiente formula³⁸.

³⁸ LÓPEZ J. 2011 Op., Cit., p. 202

$$S = \frac{N^0f}{N^0i} * 100$$

Dónde:

S = Supervivencia

Nf = Numero de animales final

Ni = Numero de animales inicial

4.12.4 Análisis parcial de costos. Es el índice que resulta de dividir los beneficios entre los costos fijos calculado a valor presente de acuerdo a la siguiente formula

$$RBC = \frac{B}{C}$$

Dónde:

RBC = Relación beneficio costo

B= Ingreso Total

C= costo Total

4.12.5 Análisis estadístico. En cada una de las variables a estudiar, se aplicó un análisis de varianza ANOVA, con el fin de determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos; y en las variables en las cuales se encuentren diferencias se aplicó una Prueba de Comparación Múltiple de TUKEY al 95% de confiabilidad, con el fin de comparar los distintos tratamientos y establecer el mejor, utilizando el Software Statgraphics centurión XVI.I y Microsoft Excel 2010.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

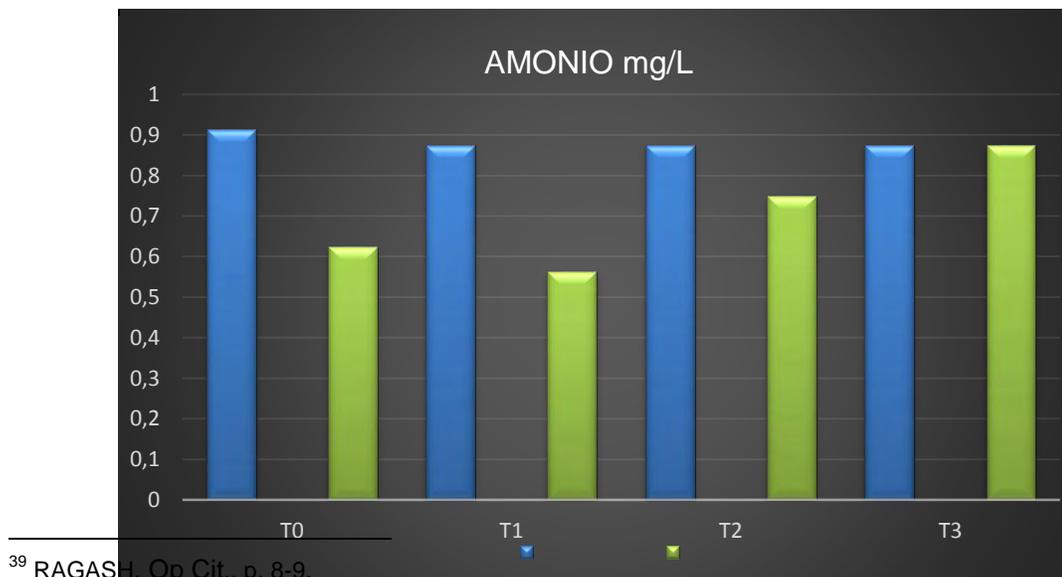
5.1 PORCENTAJE DE REMOCIÓN

5.1.1 Amonio. La tabla 3 indica los datos promedios arrojados en la investigación, para amonio en la entrada de los tratamientos T1, T2 y T3 fue menor con 0,875 mg/L, respecto a 0,915 mg/L obtenidos en el T0, los cuales están dentro de los rangos óptimos para trucha arcoíris establecidos por RAGASH³⁹ quien sugiere datos menores a 1 mg/L, esto se soporta porque el sistema acuapónico cumple con los procesos de remoción de los compuestos (Figura 15).

Tabla 3. Amonio en la entrada y salida de cada tratamiento

Tratamiento	Entrada	Salida
T0	0,915	0,624
T1	0,875	0,5625
T2	0,875	0,75
T3	0,875	0,875

Figura 15. Comportamiento de amonio en la entrada y salida de cada tratamiento

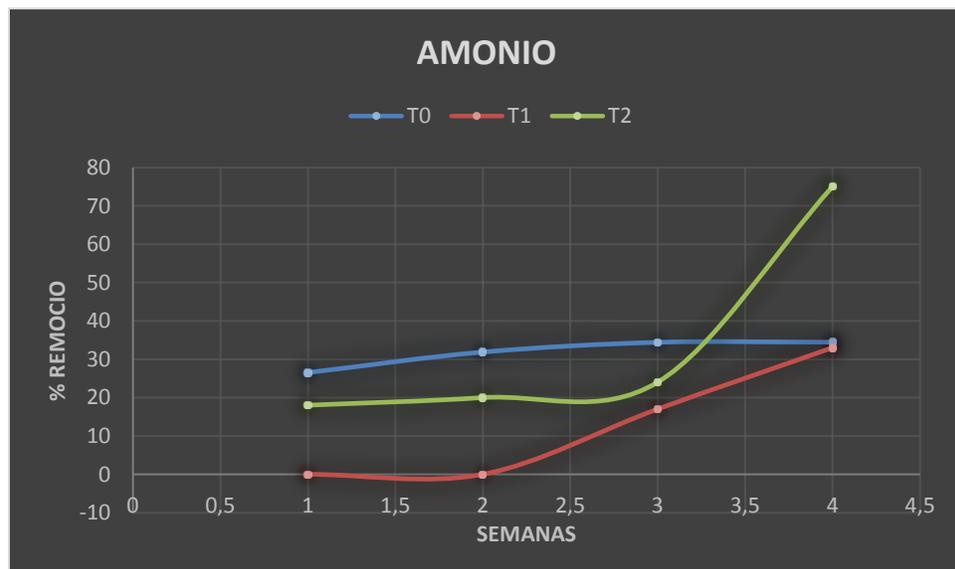


En los resultados promedio obtenidos para la remoción de amonio (Figura 16), en el análisis de varianza ($p < 0,05$) se muestra que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. De la misma manera la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad, establece que existen diferencias significativas para los tratamientos, obteniendo el valor más alto para el T2 (fibra de coco) con un porcentaje de remoción del 35,71% seguida del T0 (convencional) con 31,80%, T1 (cascarilla de arroz) 14,29 y finalmente el T3 (sin sustrato) con 0 remoción.

Figura 16. Porcentaje de remoción amonio.



Figura 17. Porcentaje de remoción amonio semanal



Ingle de la Mora *et al*⁴⁰., asegura que los niveles de altos de oxígeno disuelto contribuyen a la disminución de las concentraciones de amonio en su forma ionizada, los valores de oxígeno disuelto en esta investigación fueron de 6,63 mg/L lo que corrobora lo dicho por este autor.

En esta investigación el T2 (fibra de coco) generó una mayor remoción de amonio debido a que este tiene una gran capacidad de aireación y retención⁴¹, permitiendo que la materia orgánica y alimento no consumido presentes en agua sean aprovechados por las plántulas de lechuga, y el agua filtrada por este sustrato sea óptima para el cultivo de trucha caso contrario con el T3 (sin sustrato) en el cual no existió porcentaje re moción debido a que en este tratamiento no hubo ningún tipo de sustrato siendo valores iguales tanto en entrada como salida, en cuanto a T0 (convencional) se obtuvo mejores resultados que el T1 (cascarilla de arroz) debido a los recambios que se realizaban cada semana.

5.1.2 Nitritos Los datos arrojados en la investigación para nitrito en la entrada y salida de cada tratamiento fueron: (Tabla 4).

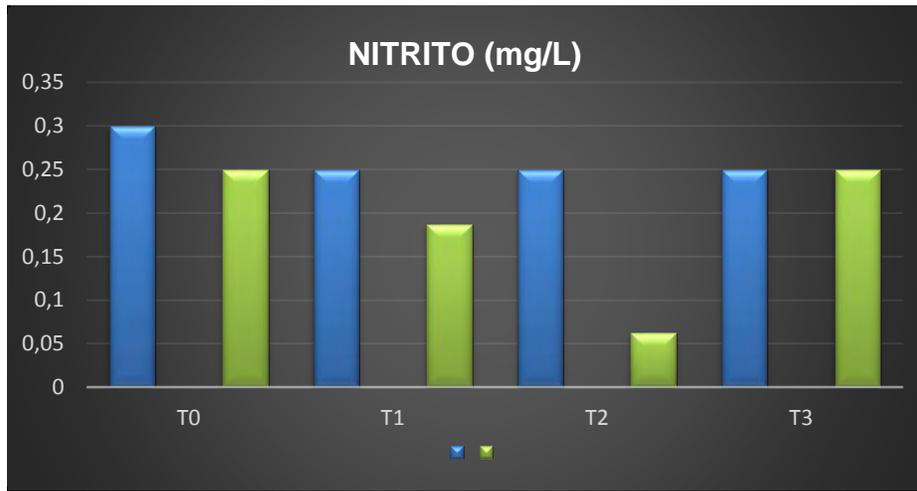
Tabla 4. Nitrito en la entrada y salida de cada tratamiento

Tratamiento	Entrada	Salida
T0	0,3	0,25
T1	0,25	0,1875
T2	0,25	0,0625
T3	0,25	0,25

⁴⁰ **INGLE DE LA MORA**, G., VILLARREAL., E. ARREDONDO, J ., PONCE, J y BARRIGA,I Evaluation of some water quality parameters in a closed aquaculture recirculation- water system, submitted to different loads of fish. Hidrobiologica 2003 p 247-253.

⁴¹ **AGROMATICA** FIBRA DE COCO, UN SUSTRATO CON GRAN POTENCIAL10 junio, 2014 Disponible en internet, URL:<http://www.agromatica.es/sustrato-de-fibra-de-coco/>

Figura 18. Comportamiento de nitrito en entrada y salida de cada tratamiento



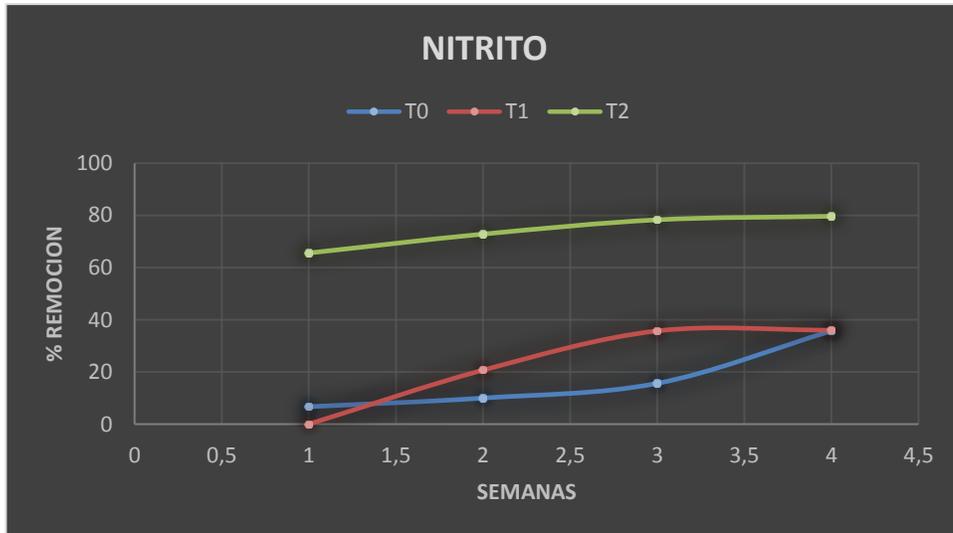
En los resultados promedio obtenidos para la remoción de nitritos, en el análisis de Varianza ($p < 0,05$) se muestra que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. De la misma manera la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad, establece que existen diferencias para los tratamientos, obteniendo el valor más alto para el T1 (cascarilla arroz) y T2 (fibra de coco) con un porcentaje de remoción del 25% seguido del T0 (convencional) con 16,67 % y T3 (sin sustrato) con 0 remoción esto se debe a que la cascarilla de arroz ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico por ser sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje, buena aireación, la cascarilla de arroz es el sustrato más empleado para los cultivos hidropónicos en Colombia bien sea cruda o parcialmente carbonizada. El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma (humectabilidad) cuando se usa como sustrato único⁴² (Figura 19).

⁴² CALDERÓN, LA CASCARILLA CAOLINIZADA Disponible en internet, URL: http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htmhttp://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm

Figura 19. Porcentaje de remoción del nitrito



Figura 20. Porcentaje de remoción del nitrito semanal



Timmons ⁴³, afirman que los nitritos se constituyen en un problema frecuente en los peces están expuestos de manera permanente a abundantes concentraciones de este compuesto.

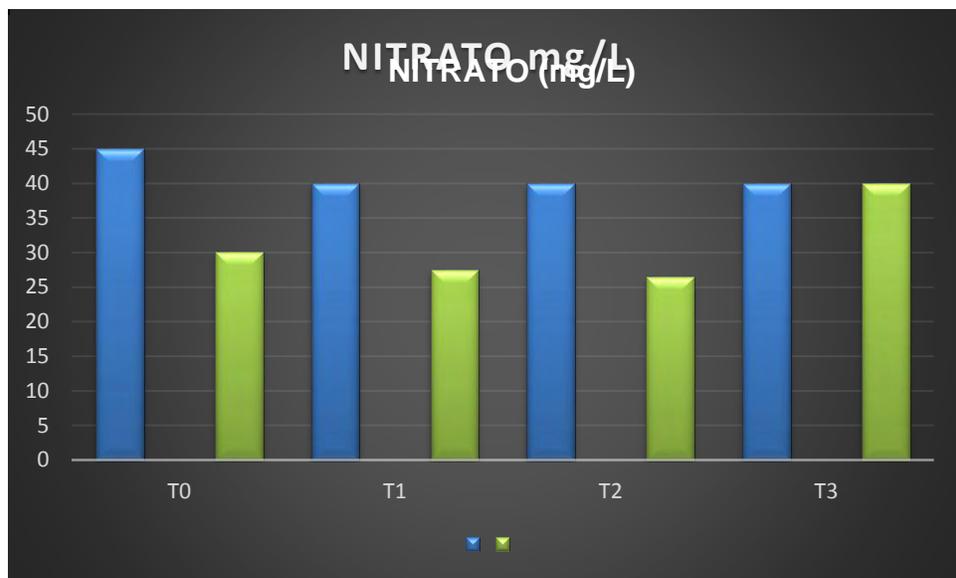
⁴³ TIMMONS, et al. Op. Cit., p. 33.

5.1.3. Nitrato. Los datos arrojados en la investigación para nitrato en la entrada y salida de cada tratamiento fueron: **(Tabla 5)**. Los cuales concuerdan con los propuestos por RAGASH⁴⁴ quien determina valores no mayores de 100 mg/L para trucha arcoíris

Tabla 5. Nitrato en la entrada y salida de cada tratamiento

Tratamiento	Entrada	Salida
T0	45	30
T1	40	27,5
T2	40	26,5
T3	40	40

Figura 21. Comportamiento del nitrato en la entra y salida de cada tratamiento



En la figura 21 se puede apreciar que el comportamiento de los nitratos se mantuvieron dentro del rango soportado por la especie como lo demuestra Davidson *et al*⁴⁵ quienes encontraron NO_3 de 91, 17, 17 y 191 mg/L al comparar diferentes recambios con y sin ozono.

⁴⁴ RAGASH, Op Cit., p. 8-9.

⁴⁵ DAVIDSON J, GOOD C, WELSH C, SUMMERFELT S. The effects of ozone and water exchange rates on water quality and rainbow trout *oncorhynchus mykiss* performance in replicated water recirculating systems. En: Aquacultural engineering 44. United states. 2011 p. 80-96. Disponible en: www.Elsevier.Com/locate/aqua-online

Blanco⁴⁶ señala que concentraciones de 275 mg/L detienen el crecimiento de las truchas y 800 mg/L es el límite de tolerancia, observándose rechazo de la comida y lesiones cutáneas de color gris brillante de carácter reversible.

Summerfelt *et al*⁴⁷, proponen que en un SRA el proceso más esperado es la nitrificación, puesto que los nitratos se constituyen en el compuesto menos tóxico para los peces, que cualquiera de los demás componentes derivados del nitrógeno. Por otro lado la nitrificación dentro de un sistema de recirculación se limita solo a aquellas superficies donde las bacterias autótrofas se pueden adherir y permanecer dentro del sistema, como por ejemplo superficies de contacto como tuberías y tanques.

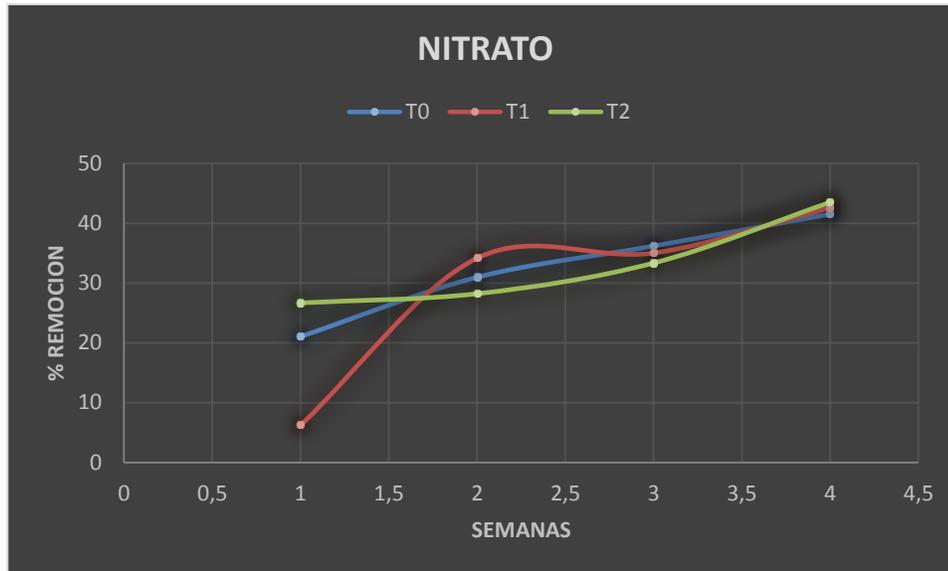
Figura 22. Porcentaje de remoción del nitrato



⁴⁶ BLANCO, Op. Cit. P. 227

⁴⁷ SUMMERFELT S., DAVIDSON, J., WALDROP, T ., TSUKUDA, S. y BEBAK-WILLIAMS, J. A partial-reuse system for coldwater aquaculture. The conservation Fund Freshwater Institute. En: Aquacultural Engineering 31. 2004. P.15

Figura 23. Porcentaje de remoción del nitrato semanal



En los resultados promedio obtenidos para la remoción de nitratos, en el análisis de varianza ($p < 0,05$) se muestra que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. De la misma manera la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad, establece que existen diferencias para los tratamientos, obteniendo el valor más alto para el T2 (fibra de coco) con un porcentaje de remoción del 38,9% y T0 (convencional) y T1 (cascarilla de arroz) con 25% frente a T3 con 0% remoción. Esto se refleja en el crecimiento significativo de las plantas con sustratos, en comparación a las que carecían de este; esto se debe a que las plantas aprovecharon los nitratos para su buen desarrollo gracias a la fijación de la raíz al sustrato.

5.2. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA.

Los valores promedio de los parámetros de calidad del agua se muestran en la Tabla 9. El análisis de varianza no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) indicando que no fueron fuente de variación en los resultados obtenidos en la investigación.

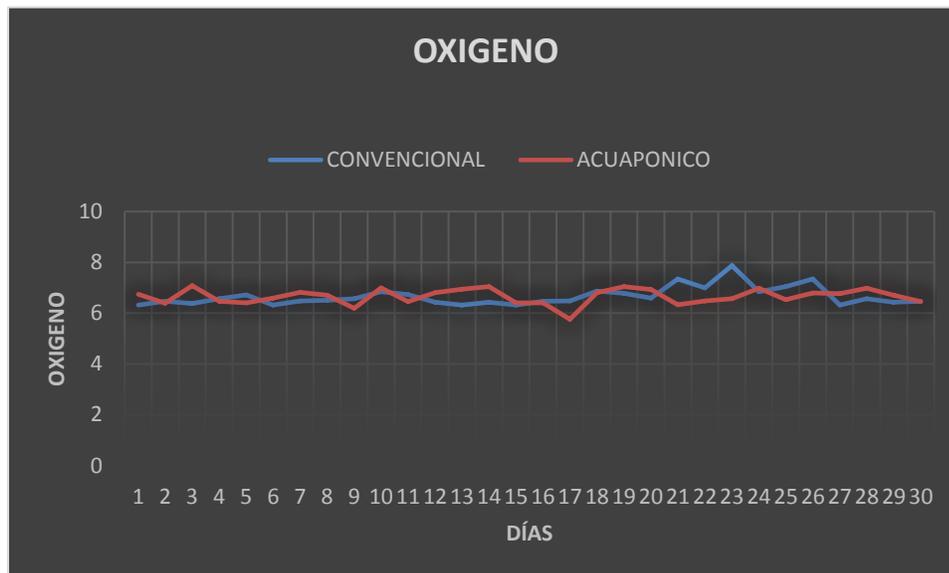
Tabla 6. Valores físico-químicos promedios del sistema acuapónico Vs convencional

Parámetros	Acuapónico	Convencional
Oxígeno disuelto(mg/L)	6,653	6,661
Temperatura C ⁰	17,423	16,963
pH	7,12	7,15

5.2.1. Oxígeno disuelto. El mayor valor de oxígeno fue en el sistema convencional lo cual se puede explicar por la mortalidad ocasionada en la segunda semana por cuanto a medida que iban muriendo la población y por ende el suministro de alimento disminuían lo que conlleva a mas disponibilidad de oxígeno disuelto para los animales que lograron sobrevivir, como lo explica Macityre *et al*⁴⁸ quien considera que el consumo de oxígeno es proporcional al tamaño y la densidad de los peces; y que cuando estos son pequeños, consumen más oxígeno por unidad de peso que los peces en etapas de finalización

Timmons *et al*⁴⁹, establece que la falta de oxígeno disuelto se constituye como la principal razón por la cual la mayoría de peces mueren, ya que es consumido por el flujo de agua. Esto se puede explicar debido al metabolismo de los peces, ya que el oxígeno es consumido a una tasa relativamente alta, y este es transportado por el flujo de agua, causando bajas concentraciones inherentes de oxígeno, por lo tanto se requieren altos flujos para transportar el oxígeno necesario.

Figura 24. Comportamiento del oxígeno disuelto en el Sistema Acuapónico vs convencional



5.2.2. Temperatura. Para este parámetro el análisis de varianza ($p < 0,05$), con valor f de 0,034 durante el periodo de estudio de los dos sistemas, permite inferir

⁴⁸ MACITYRE, C., ELLIS, T., NORTH, B, y TUMBULL, J. The influences of wáter quality on the welfare rainbow trout: a review. En; "Fish Welfare". Editado por Branson, E.J Blackwell Publishing Ltd. Oxford, U.K. 2008 p.311.

⁴⁹ TIMMONS, *et al.* Op cit., p. 96.

que existen diferencias estadísticas significativas, además la prueba de Tukey indicó el valor más alto para el sistema Acuapónico 17,4 °C, mientras que el sistema convencional arrojó el valor más bajo de 16,9 °C, esto se puede soportar porque en el sistema acuapónico se manejó un sistema de recirculación cerrada permitiendo mantener la temperatura del agua estable mientras que en el convencional la temperatura cambio constantemente debido a los recambios realizados.

Como se puede observar la temperatura se mantuvo dentro de los límites requeridos por la especie. Según Timmons *et al*⁵⁰, el rango de temperatura adecuado para el cultivo de trucha arcoíris, el cual se encuentra entre 15 y 18 °C, también asegura que frente al oxígeno disuelto, la temperatura del agua ocupa el segundo lugar más importante e impacto en la viabilidad económica en una actividad dedicada a la producción acuícola. La temperatura influye directamente en algunos procesos fisiológicos tales como respiración, eficiencia alimenticia, crecimiento y reproducción.

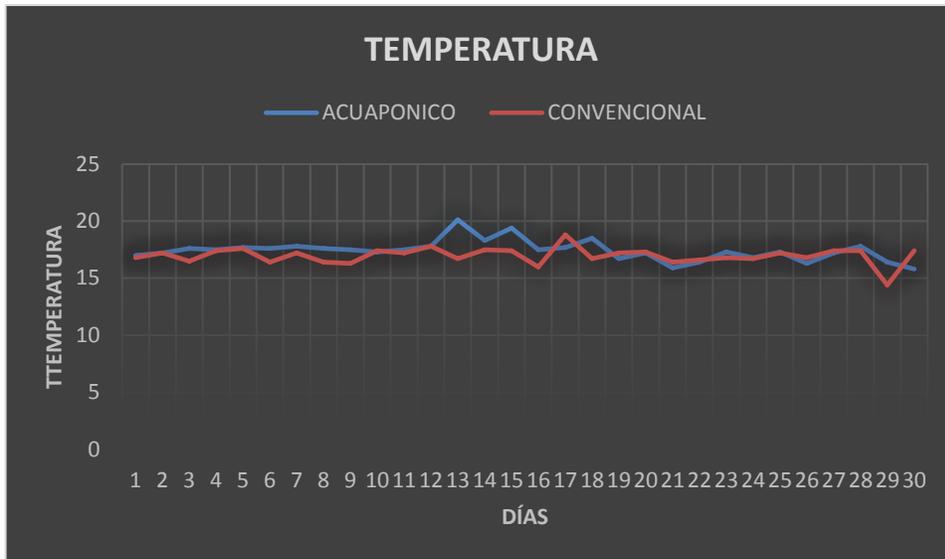
Said⁵¹, establece que la temperatura ambiente tiene sobre todos los aspectos de la fisiología de los peces; no obstante, estos toleran temperaturas diferentes a la ideal por medio de un ajuste metabólico y termorregulación comportamental de manera que cuando la temperatura aumenta por encima de los límites tolerantes, la tasa de alimentación disminuye para poder ser completamente inhibida en bajas temperatura que afectan el crecimiento y la sobrevivencia de los peces. García-Criollo *et al*⁵². Proponen que cambios drásticos de temperatura, afectan la tasa metabólica, y por ende, se presenta mayor consumo de oxígeno.

⁵⁰ **TIMMONS**, *et al.* Op. Cit., p. 31.

⁵¹ **SAID, L.** Relacao ambiente e sanidade de peixes. Trabalho monográfico do curso de pós-graduacao "Lato Sensu" em Medicina de Animais Selvagens e Exóticos apresentado á UCB como requisito parcial para a obtecao de título de Especialista em Clinica Médica e Cirurgica de Animais Selvagens e Exóticos. Universidade Castelo Branco 2008. P. 38.

⁵² **GARCÍA-CRIOLLO**, *et al.* Op. Cit. P.17.

Figura 25. Comportamiento de la temperatura en el Sistema Acuapónico vs convencional

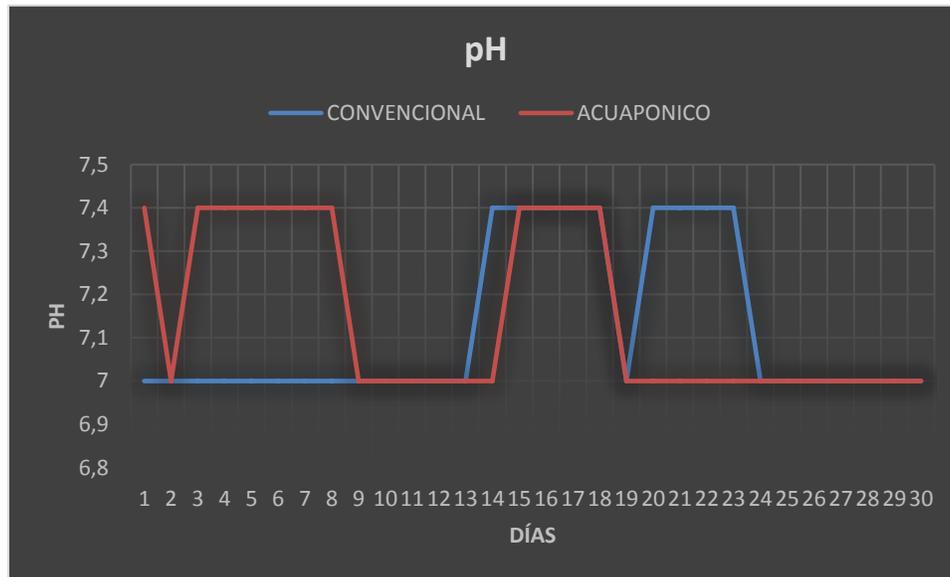


5.2.3. Potencial de hidrógeno (pH) Durante el periodo de estudio el pH se encontró dentro de los rangos adecuados para el cultivo de la trucha en confinamiento según recomendado por García *et al*⁵³ quienes aseguran que un rango óptimo de pH se encuentra entre 6,5 a 8. Valores por encima o por debajo causan cambios en el comportamiento como inapetencia, letargia, y retraso en el crecimiento y madurez reproductiva, Así mismo Moradyan *et al*⁵⁴, reporta rangos de valores de pH que oscilan entre 7,6 a 7,8 asegurando que al no presentarse variaciones significativas de los parámetros físico-químicos del agua, conlleva a que la fuente de agua es perfectamente compatible con los requerimientos de la trucha arcoíris.

⁵³ *Ibid.*, p. 109.

⁵⁴ MORADYAN, *et al.* Op.cit. p. 480-485

Figura 26. Comportamiento del pH total en el Sistema Acuapónico vs convencional



5.3. VARIABLES PRODUCTIVAS

5.3.1 Peso. Los peces con los que se inició la investigación fueron similares en peso según la prueba de hipótesis realizada, donde no se rechazó la hipótesis nula con un 95 % de confianza, demostrando que no existen diferencias estadísticas significativas.

Tabla 7. Prueba de hipótesis peso inicial.

PESO INICIAL	Sistema Acuapónico	Sistema Convencional
Tamaño	10	10
Media	15,429	15,495
Desviación estándar	2,18	0,488

Las tabla 7 indica la uniformidad de los peces en el momento de la siembra disminuyendo de esta manera el error experimental.

Tabla 8. Prueba de hipótesis peso final.

PESO FINAL	Sistema Acuapónico	Sistema Convencional
Tamaño	10	10
Media	58,043	49,319
Desviación estándar	3,6	0,66

En la prueba de hipótesis con un 95% de confianza, para el peso final rechaza la hipótesis nula, lo que significa que entre el peso final del sistema acuapónico y el peso final de sistema convencional existen diferencias estadísticas significativas entre los sistemas, además la prueba de Tukey con el 95% de confiabilidad, estableció que el sistema acuapónico presento mejores resultados con un peso final de 58,043 gr.

5.3.2. Incremento de peso. Según el análisis de varianza ($p < 0,05$) para incremento de peso semanal demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre los sistemas.

Figura 27. Incremento de peso semanal, sistema Acuapónico Vs Convencional.



En la figura 24, se muestra el comportamiento del crecimiento en gramos durante las semanas de estudio de los sistemas.

Según los datos reportado por García *et al* ⁵⁵ para el cultivo de trucha en condiciones similares de sistema de recirculación, los incrementos de peso día

⁵⁵ GARCÍA-CRIOLLO, GARCÍA-CRIOLLO, R., GÓMEZ- CERÓN A., SÁNCHEZ ORTIZ, I., SALAZAR-CANO, R SANGUINO- ORTIZ, W., Evaluación de un sistema de recirculación de agua para el levante de trucha

son de (1,13 g/día), lo que concuerda con los datos reportados en esta investigación (1,015 g/día)

5.3.3. Talla. Los peces con los que se inició la investigación fueron similares en talla según la prueba de hipótesis realizada con un 95% de confianza, donde no se rechazó la hipótesis nula demostrando que no existen diferencias estadísticas significativas.

Tabla 9. Prueba de hipótesis talla inicial.

TALLA	Sistema Acuapónico	Sistema Convencional
Tamaño	10	10
Media	10,7	10,7
Desviación estándar	1,33	1,05

La tabla 8 indica la uniformidad de los peces en el momento de la siembra disminuyendo de esta manera el error experimental.

Tabla 10. Prueba de hipótesis talla final.

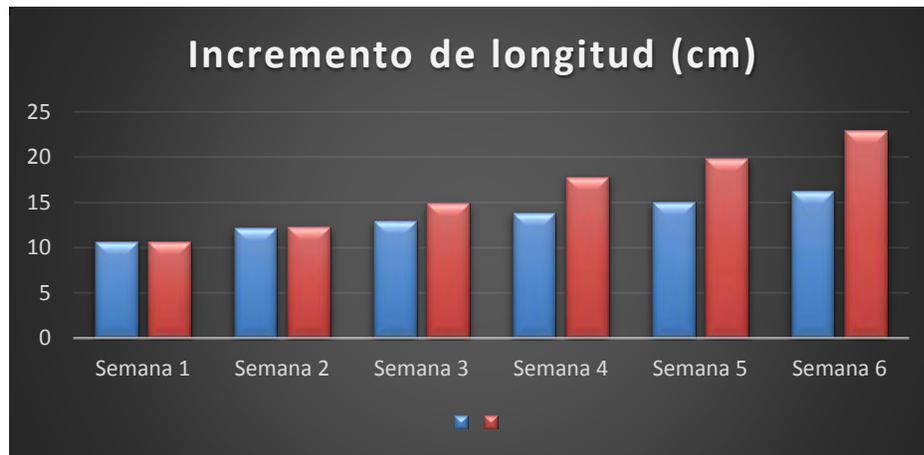
TALLA FINAL	Sistema Acuapónico	Sistema Convencional
Tamaño	10	10
Media	22,93	16,23
Desviación estándar	0,41	0,71

En la prueba de hipótesis, para el talla final rechaza la hipótesis nula con un 95% de confianza, lo que significa que entre la talla final del sistema acuapónico y la talla final de sistema convencional existen diferencias estadísticas significativas entre los sistemas, además la prueba de Tukey con el 95% de confiabilidad, estableció que el sistema acuapónico presentó mejores resultados en cuanto a talla, con un valor de 22,93 cm.

5.3.4 Incremento de Talla. Según el análisis de varianza ($p < 0,05$), para el incremento de longitud semanal durante el periodo de estudio de los dos sistemas, permite inferir que no existen diferencias estadísticas significativas. (Figura 28)

arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en el laboratorio de organismos vivos y productividad primaria del programa de ingeniería en producción acuícola de la universidad de Nariño en revista electrónica de ingeniería en producción acuícola año IV. Vol. 4 del 2009.

Figura 28. Incremento de longitud, en el sistema Acuapónico Vs Convencional.



De acuerdo con Faure y Labbé⁵⁶ el crecimiento es una actividad controlada a nivel celular. Que refleja múltiples procesos que se llevan a cabo en el medio interno y es un indicador global de la adecuación del organismo al ambiente. Si ésta es favorable el organismo crece pero cuando está sujeto a variables causantes de estrés del medio, el crecimiento fisiológico se detiene. “Los peces obtienen su potencial máximo de crecimiento fisiológico por una serie de condiciones: composición química del agua, características genéticas y estado fisiológico”⁵⁷.

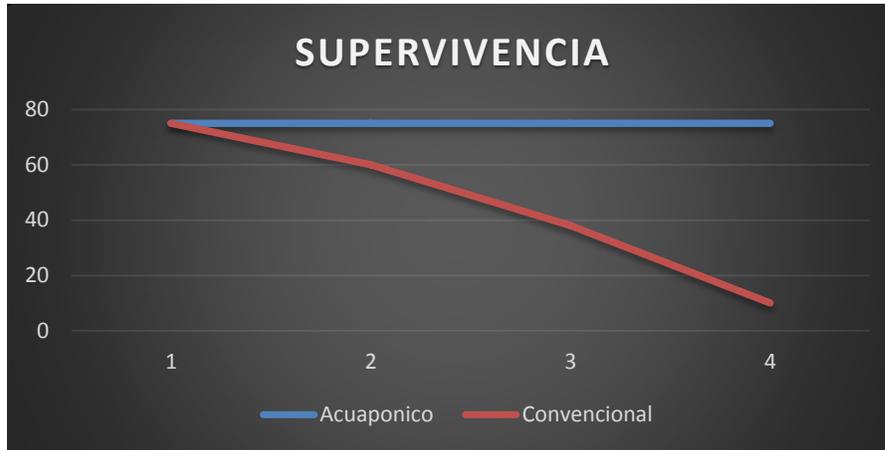
5.3.5 Supervivencia. Mediante la prueba estadística de Brand Snedecor se encontró diferencias significativas estadísticas entre los tratamientos. Se registró una supervivencia vivencia final de 100% para el sistema acuapónico frente al sistema convencional con 13,33 %, este resultado pudo ser ocasionado porque existieron pocos recambios de agua, por lo tanto la calidad de esta se vio afectada por el incremento de las concentraciones de contaminación de sólidos, materia orgánica y compuestos nitrogenados; por lo tanto, esto coincide con los incrementos de peso más bajos, bienestar animal en condiciones desfavorables; incremento de mortalidad, debido a que los peces al estar limitados a un ambiente artificial no tienen la posibilidad de buscar espacios libres del agente estresor por

⁵⁶ FAURE, A. y LABBÉ, L. Práctica de la alimentación en los peces. P.399-411 En: Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-Prensa. México 2004. 482 p.

⁵⁷ LÓPEZ-MACÍAS, J y RUALES, E. Manejo preventivo de la flavobacteriosis de trucha arcoíris (*oncorhynchus mykiss*) en cultivos intensivos en jaulas flotantes y superintensivos en raceways,

lo que han de estar sometidos a las condiciones establecidas en los sistemas de producción como lo propone Eslava-Mocha.⁵⁸

Figura 29. Supervivencia de los animales



5.3.6 Análisis parcial de relación beneficio/costo en el sistema acuícola vs el sistema convencional. En esta investigación se tuvo en cuenta los costos de producción relacionados al valor de alevinos, consumo de alimento artificial, costo del montaje de los sistemas suponiendo una vida útil de cinco años y mano de obra, los ingresos que se obtendrán por la venta de la biomasa producida, para lo cual se obtuvo que la relación beneficio/costo para el sistema acuapónico es de 0,14. Igualmente el sistema convencional presentó una relación beneficio/costo de 0,019; esto se puede explicar a que la carga final para este sistema fue menor a la carga inicial debido a la elevada mortalidad que presentó; la relación costo beneficio en esta investigación no fue viable en ninguno de los dos sistemas y esto se puede soportar porque el periodo de estudio fue demasiado corto siendo la séptima parte del ciclo productivo de trucha.

“la acuicultura es un negocio rentable solo si se manejan cargas en fases de finalización entre 30 y 40 kg/m”⁵⁹

⁵⁸ **ESLAVA-MOCHA P.** Una aproximación sistemática a las enfermedades de peces dulceacuícolas de Colombia. En Memorias, XIV Jornada de Acuicultura, Sanidad y producción de peces. Universidad de los llanos. Octubre 10 del 2008 Villavicencio. P. 45.

⁵⁹ **LÓPEZ-MACÍAS, J.** Comunicación personal, 2013.

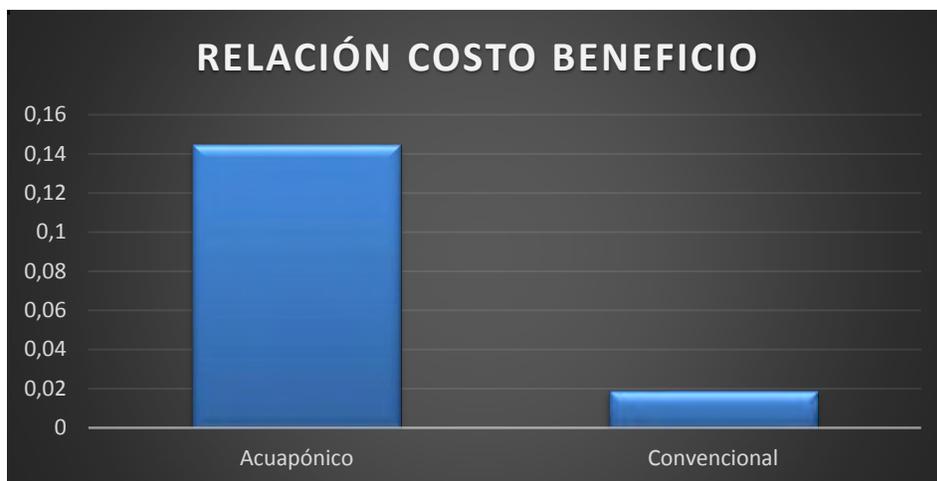
Tabla 11. Costos parciales de producción por sistema

ITEM	ACUAPONICO			CONVENCIONAL		
	V UNITARIO	CANTIDAD	V TOTAL	V. UNITARIO	CANTIDAD	V. TOTAL
ALIMENTO	2850	4	11400	2850	4	11400
ALEVINOS	500	75	37500	500	75	37500
SUSTRATO	3000	2	6000	0	0	0
LECHUGAS	135	40	5400	0	0	0
SISTEMA	96700	1	96700	18000	1	18000
MANO DE OBRA	258545	1	258545	258545	1	258545
TOTAL			415545	TOTAL		325445
RCB	0,145			0,019		

El valor del ingreso por la cantidad de biomasa producida y vendida se obtiene de multiplicar la cantidad de carne de pescado en (Kg) por el valor comercial de un Kg de pescado en el mercado. Para el caso del Sistema Acuapónico se produjeron 4,42 kg con animales de 58,043 gr por un precio de venta de \$ 13000 cada Kg obteniendo un ingreso de \$ 57500; igualmente se produjeron 1 kg de lechugas a un precio de venta de \$ 2800 obteniendo un ingreso total de \$ 60300.

Para el sistema convencional se produjeron 0,49 Kg a un precio de venta de \$13000 obteniendo un ingreso de \$6400

Figura 30. Relación Beneficio-Costo



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El sistema acuapónico presento mejores resultados en cuanto a la eficiencia de remoción de compuestos nitrogenados, por lo tanto la implementación de un sistema hidropónico en un sistema de recirculación acuícola es una buena opción como biofiltro.
- La fibra de coco como sustrato, representa una excelente alternativa en los sistemas acuapónicos por su nivel de remoción de compuestos nitrogenados.
- La ganancia de peso reportada en el presente proyecto fue de 1,015 g/día en el sistema acuapónico encontrados dentro de los valores reportados por la literatura.
- El bienestar del animal medido por medio de la supervivencia de los ejemplares que se mantuvieron en el sistema acuapónico fue del 100%; a diferencia del convencional que fue de 13,33%.
- Los parámetros físico-químicos del agua evaluados diariamente se mantuvieron dentro del rango exigido de la especie tanto en el sistema acuapónico como en el convencional.
- Los sistemas acuapónicos representan una excelente alternativa de cultivo; su efectividad está acompañada en la obtención de dos productos en un mismo sistema.
- La relación costo beneficio en esta investigación fue baja esto pudo ocurrir principalmente porque el periodo de investigación fue corto donde el principal objetivo era la remoción de compuestos nitrogenados; no el ciclo productivo, que implica llevar el cultivo a una etapa de finalización (>250 gr).

6.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar la eficiencia de otros sustratos orgánicos como medios filtrantes en sistemas acuapónicos.

- Realizar una etapa de pre-ensayo a partir del cual se estandaricen los protocolos de trabajo con la especie y hortaliza a cultivar para identificar posibles fallas que puedan intervenir en el periodo de investigación.
- Se recomienda continuar con este tipo de investigaciones con tiempos más prolongados (finalizar ciclo) que permitan evaluar el costo-beneficio real del sistema acuapónico.
- La muestra de agua para su respectivo análisis de remoción debe ser tomada después del clarificador permitiendo así datos las exactos ya que el este funciona con un biofiltro permitiendo una mayor remoción de sólidos y compuestos nitrogenados.

7. BIBLIOGRAFIA

ARZU, U. y MUHAMMED, A. The effects of natural (clove oil) and synthetical (2-phenoxyethanol) anesthesia substances on hematology parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta fario*). Journal of animal and veterinary advances 9 (14): Faculty of aquaculture engineering. Ataturk University. Erzurum, Turkey. 2010. 1925-19933p

ARREDONDO-FIGUEROA. J., BARRIGA-SOSA, L., NUÑEZ-GARCÍA, I. y PONCE-PALAFIX, J. Cultivo de Trucha Arcoíris (*oncorhynchus mykiss, walbaum*) en un sistema cerrado de recirculación de agua. Planta experimental de producción Acuícola, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalpa, México, Distrito Federal (México). En: Civa 2006 1038-1047. 2006. P .10 Disponible en: <http://www.civa2006.org>

AGROMATICA FIBRA DE COCO, UN SUSTRATO CON GRAN POTENCIAL10 junio, 2014 Disponible en internet, URL: <http://www.agromatica.es/sustrato-de-fibra-de-coco/>

BLANCO, C. La trucha arcoíris, cría industrial. 2^a ed. Ediciones Mundiprensa. 1995.

BUENO DOS REIS. C., AZEVEDO, F., y ULIBRICH. E. Toxicidade e Efeitos da Amonia em Pexies Neotropicais. Capitulo 6. Departamento de Ciencias Fisiologicas; Universidade Estadual de Londrina.

CALDERÓN, La cascarilla caolinizada Disponible en internet, URL: http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htmhttp://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm

CAMACHO, E.; MORENO, M. A.; RODRÍGUEZ, M.; LUNA, C.; VÁZQUEZ M. 2000. Guía para el cultivo de trucha. Impresora Marte. México..

COLAGROSSO Alessandro, Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala, Manual de desarrollo de cultivo acuapónico, 2014

ESLAVA-MOCHA P. Una aproximación sistemática a las enfermedades de peces dulceacuícolas de Colombia. En Memorias, XIV Jornada de Acuicultura, Sanidad y producción de peces. Universidad de los Llanos. Octubre 10 del 2008 Villavicencio.

DAVIDSON J, GOOD C, WELSH C, SUMMERFELT S. The effects of ozone and water exchange rates on water quality and rainbow trout *oncorhynchus mykiss* performance in replicated water recirculating systems. En: Aquacultural engineering 44. United states. 2011 p. 80-96. Disponible en: [www. Elsevier. Com/locate/aqua-online](http://www.Elsevier.Com/locate/aqua-online)

DURBOROW, R., CROSBY, D y BRUNSON M. ammonia in fish ponds southern regional aquaculture center SRAC Publication N. 463 1997

FAO (Food and Agriculture Organization), El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Roma 2012.

FAURE, A. y LABBÉ, L. Práctica de la alimentación en los peces. P.399-411 En: Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-Prensa. México 2004. 482 .

GALLI, M. O., Miguel. S. F., 2007. Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. CENADAC (Santa Ana-Corrientes)

GARCÍA-CRIOLLO, R., GÓMEZ- CERÓN A., SÁNCHEZ ORTIZ, I., SALAZAR-CANO, R SANGUINO- ORTIZ, W., Evaluación de un sistema de recirculación de agua para el levante de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el laboratorio de organismos vivos y productividad primaria del programa de ingeniería en producción acuícola de la universidad de Nariño en revista electrónica de ingeniería en producción acuícola año IV. Vol. 4 del 2009.

INGLE DE LA MORA, G., VILLARREAL., E. ARREDONDO, J ., PONCE, J y BARRIGA,I Evaluation of some water quality parameters in a closed aquaculture recirculation- water system, submitted to different loads of fish. Hidrobiologica 2003

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS. San Juan de Pasto República de Colombia, 2014. Disponible en internet, URL:<http://www.sgc.gov.co/getattachment/Pasto>

KAMUEZ, N.; Sánchez, O.; Tesis de Grado: Respuesta de dos variedades de lechuga Lactuca a dos soluciones nutritivas y tres mezclas de sustratos en condiciones hidropónicas. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto 1993.

LÓPEZ -Macías, J. Nutrición y alimentación acuícola. Editorial Universidad de Nariño, 2ª edición, Pasto, Colombia. 2011..

LÓPEZ-MACÍAS, J y RUALES, E. Manejo preventivo de la flavobacteriosis de trucha arcoíris (*oncorhynchus mykiss*) en cultivos intensivos en jaulas flotantes y súper intensivos en raceways

LÓPEZ, J. Nutrición Acuícola. Fisiología de los organismos hidrobiológicos de cultivo. Ed. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 1997

MACITYRE, C., ELLIS, T., NORTH, B, y TUMBULL, J. The influences of wáter quality on the welfare rainbow trout: a review. En; "Fish Welfare". Editado por Branson, E.J Blackwell Publishing Ltd. Oxford, U.K. 2008

MERINO, Claudia; Salazar, Gustavo y Gómez Diana. Guía práctica de piscicultura en Colombia. Bogotá: INCODER, 2006.

MOCANU. V.,DEDIU, L, DESIMIRA, D DOCAN, A y IONESCU, T. The influence of different stocking densities on growth performances of (*Oncorhynchus mykiss*).ROMANIA, 2010.

MORA Luis. INDAGRO. Sustrato para cultivos sin suelo hidroponía 0 Disponible en internet::http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_095.pdf

MORADYAN, H., KARIMI, G., SAHRAEIAN, M., ERTEFAAT , S. y SAHAFI, H The Effect of Stocking Denesity on Growth Paramaters and Survival Rate of Rainbow Trout Alevins (*oncorhynchus mykiss*). En: World Journal of Fish and Sciences 4 (5): Iran. 2012. P. 480-485.

PEDREIRA, M., KENNEDY, R, DOS SANTOS, E., SAMPAIO, J., VIERA, E. y SA FORTES, R. Biofiltracao da agua e tipos de substrato na larviultura do pacama. En: Pesq. Agropec. Bras., Brasilia, v,44, n..5, mao 2009 p. 511-518. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n5a11.pdf>.

PEREIRA, L. y MERCANTE, C. A amónia nos sistemas de criaçao de peixes e seus efitos sobre a qualidade da agua. Uma revisao. En: Inst. Pesca, Sao Paulo,

RAGASH. Municipalidad de ragash. Manual de crianza trucha (*Oncorhynchus mykiss*).Perú, 2009.

RUBIO.H.Impacto ambiental de la acuicultura, el estado de la investigación en chile y el mundo, Diciembre 2001. Disponible en Internet: www.terram.cl

SAID, L. Relacao ambiente e sanidade de peixes. Trabalho monográfico do curso de pós-graduacao “Lato Sensu” em Medicina de Animais Selvagens e Exóticos apresentado á UCB como requisito parcial para a obtcao de título de Especialista em Clinica Médica e Cirurgica de Animais Selvagens e Exóticos. Universidade Castelo Branco 2008..

SOTO Bravo, F; Ramírez Azofeifa, M. 2002. Hidroponía. San José, CR, Instituto Nacional de Aprendizaje.

SUMMERFET , S., DAVIDSON, J., WALDROP, T ., TSUKUDA, S. y BEBAK-WILLIAMS, J. A paritial-reuse system for coldwater aquaculture. The conservation Fund Freshwater Institute. En: *Aquacultural Engineering* 31. 2004.

TIMONS, M; Ebeling, J. Wheaton, F. Summerfelt, S. y Vinci, B. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Fundación Chile. Santiago de Chile. 2002.

WHEATON, F. Recirculating Aquaculture Syste

ms: An Overview of Waste Management. Department of Biological Resources Engineering. University of Maryland..

WEDLER, E. Introducción en la Acuicultura con énfasis en los Netrópicos. Primera Edición., Santa Marta, Col. 1998..

ANEXOS

Anexo A. ANOVA para Amonio por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	G	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Entre grupos	0,59375	2	0,296875	4,45	0,0195
Intra grupos	2,20313	3 3	0,0667614		
Total (Corr.)	2,79688	3 5			

Anexo B. Pruebas de Múltiple Rangos para Amonio por Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	12	0,5625	X
2	12	0,75	XX
3	12	0,875	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		-0,1875	0,214609
1 – 3	*	-0,3125	0,214609
2 – 3		-0,125	0,214609

* indica una diferencia significativa.

Anexo C. ANOVA para Nitrito por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,21875	2	0,109375	12,83	0,0001
Intra grupos	0,28125	33	0,00852273		
Total (Corr.)	0,5	35			

Anexo D. Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrito por Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
-------------	-------	-------	-------------------

1	12	0,0625	X
2	12	0,1875	X
3	12	0,25	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	-0,125	0,0766788
1 – 3	*	-0,1875	0,0766788
2 – 3		-0,0625	0,0766788

* indica una diferencia significativa.

Anexo E. Resumen estadístico de residuos Nitrito

Recuento	36
Promedio	0
Desviación Estándar	0,0896421
Coefficiente de Variación	%
Mínimo	-0,1875
Máximo	0,1875
Rango	0,375
Sesgo Estandarizado	0
Curtosis Estandarizada	0,936024

Anexo F. ANOVA para Nitrato por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1050,0	2	525,0	8,56	0,0010
Intra grupos	2025,0	33	61,3636		
Total (Corr.)	3075,0	35			

Anexo G. Pruebas de Múltiple Rangos para Nitrato por Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje LSD

Tratamiento	Casos	Mediana	Grupos Homogéneos
1	12	27,5	X
2	12	30,0	X
3	12	40,0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-2,5	6,50641
1 - 3	*	-12,5	6,50641
2 - 3	*	-10,0	6,50641

* indica una diferencia significativa.

Anexo H. Resumen estadístico de residuos Nitrato

Recuento	36
Promedio	0
Desviación Estándar	7,60639
Coefficiente de Variación	%
Mínimo	-10,0
Máximo	12,5
Rango	22,5
Sesgo Estandarizado	0,568289
Curtosis Estandarizada	-1,37633

Anexo I. Análisis de variancia para incremento de peso.

	<i>Acuaponico</i>	<i>convencional</i>
Media	4,416450866	3,902611416
Varianza	1,940738875	2,684848476
Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4
F	0,722848567	
P(F<=f) una cola	0,380389659	
Valor crítico para F (una cola)	0,156537812	

Anexo J. Prueba de Tukey 95,0 % para incremento de peso.

	<i>Acuaponico</i>	<i>convencional</i>
Media	4,416450866	3,971436992
Varianza	1,940738875	3,548218236
Observaciones	5	4
Varianza agrupada	2,629658601	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	0,409088819	
P(T<=t) una cola	0,347350688	
Valor crítico de t (una cola)	1,894578605	
P(T<=t) dos colas	0,694701376	
Valor crítico de t (dos colas)	2,364624252	

Anexo K. Análisis de variancia para incremento de talla.

	<i>Talla</i>	<i>Talla</i>
Media	2,7429513	1,415851926
Varianza	0,404849754	0,301589085
Observaciones	5	4
Grados de libertad	4	3
F	1,342388613	
P(F<=f) una cola	0,42111621	
Valor crítico para F (una cola)	9,117182253	

Anexo L. Prueba de Tukey 95,0 % para incremento de talla.

	<i>Talla</i>	<i>Talla</i>
Media	2,7429513	1,415851926
Varianza	0,404849754	0,301589085
Observaciones	5	4
Varianza agrupada	0,360595182	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	3,294482674	
P(T<=t) una cola	0,006610349	
Valor crítico de t (una cola)	1,894578605	
P(T<=t) dos colas	0,013220699	
Valor crítico de t (dos colas)	2,364624252	

Anexo M. Análisis de varianza para oxígeno

	<i>CONVENCIONAL</i>	<i>ACUAPONICO</i>
Media	6,661	6,653
Varianza	0,131547241	0,091407931
Observaciones	30	30
Grados de libertad	29	29
F	1,439122841	
P(F<=f) una cola	0,166237861 NS	
Valor crítico para F (una cola)	1,860811435	

Anexo N. Prueba de Tukey 95,0 % para oxígeno

	<i>CONVENCIONAL</i>	<i>ACUAPONICO</i>
Media	6,661	6,653
Varianza	0,131547241	0,091407931
Observaciones	30	30
Varianza agrupada	0,111477586	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	58	
Estadístico t	0,092798688	
P(T<=t) una cola	0,463191649	
Valor crítico de t (una cola)	1,671552762	
P(T<=t) dos colas	0,926383298 *	
Valor crítico de t (dos colas)	2,001717484	

Anexo S. Análisis de varianza para temperatura

	ACUAPONICO	CONVENCIONAL
Media	17,42333333	16,96333333
Varianza	0,803229885	0,545850575
Observaciones	30	30
Grados de libertad	29	29
F	1,47151972	
P(F<=f) una cola	0,151961924	NS
Valor crítico para F (una cola)	1,860811435	

Anexo O. Prueba de Tukey 95,0 % para temperatura

	ACUAPONICO	CONVENCIONAL
Media	17,42333333	16,96333333
Varianza	0,803229885	0,545850575
Observaciones	30	30
Varianza agrupada	0,67454023	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	58	
Estadístico t	2,169199687	
P(T<=t) una cola	0,017089672	
Valor crítico de t (una cola)	1,671552762	
P(T<=t) dos colas	0,034179344	*
Valor crítico de t (dos colas)	2,001717484	

Anexo P Análisis de varianza para pH

	CONVENCIONAL	ACUAPONICO
Media	7,12	7,146666667
Varianza	0,034758621	0,038436782
Observaciones	30	30
Grados de libertad	29	29
F	0,90430622	
P(F<=f) una cola	0,394173006	NS
Valor crítico para F (una cola)	0,537399965	

Anexo Q Prueba de Tukey 95,0 % para pH

	CONVENCIONAL	ACUAPONICO
Media	7,12	7,146666667
Varianza	0,034758621	0,038436782
Observaciones	30	30
Varianza agrupada	0,036597701	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	58	
Estadístico t	-0,539867842	
P(T<=t) una cola	0,295677517	
Valor crítico de t (una cola)	1,671552762	
P(T<=t) dos colas	0,591355035 *	
Valor crítico de t (dos colas)	2,001717484	

ANAXO R. Bitácoras de parámetros físicos

PARAMETROS						
DÍA	ACUAPÓNICO			CONVENCIONAL		
	Temperatura	Oxígeno	pH	Temperatura	Oxígeno	pH
1	17	6,74	7,4	16,8	6,32	7
2	17,2	6,39	7	17,2	6,47	7
3	17,6	7,08	7,4	16,5	6,38	7
4	17,5	6,47	7,4	17,4	6,57	7
5	17,7	6,41	7,4	17,6	6,72	7
6	17,6	6,59	7,4	16,4	6,32	7
7	17,8	6,82	7,4	17,2	6,48	7
8	17,6	6,71	7,4	16,4	6,51	7
9	17,5	6,19	7	16,3	6,57	7
10	17,3	7	7	17,4	6,84	7
11	17,5	6,45	7	17,2	6,73	7
12	17,8	6,81	7	17,8	6,43	7
13	20,1	6,94	7	16,7	6,33	7
14	18,3	7,05	7	17,5	6,43	7,4
15	19,4	6,41	7,4	17,4	6,32	7,4
16	17,5	6,4	7,4	16	6,47	7,4
17	17,7	5,76	7,4	18,8	6,48	7,4
18	18,5	6,8	7,4	16,7	6,87	7,4
19	16,7	7,05	7	17,2	6,78	7
20	17,2	6,93	7	17,3	6,59	7,4
21	15,9	6,33	7	16,4	7,34	7,4
22	16,4	6,48	7	16,6	6,99	7,4
23	17,3	6,57	7	16,8	7,87	7,4
24	16,8	6,98	7	16,7	6,84	7
25	17,3	6,53	7	17,2	7,05	7
26	16,3	6,79	7	16,8	7,34	7
27	17,2	6,77	7	17,4	6,32	7
28	17,8	6,98	7	17,4	6,57	7
29	16,4	6,71	7	14,4	6,43	7
30	15,8	6,45	7	17,4	6,47	7

ANEXO S. Datos remoción compuestos nitrogenados

DATOS REMOCIÓN COMPUESTOS NITROGENADOS											
AMONIO CONVENCIONAL				NITRITO CONVENCIONAL				NITRATO CONVENCIONAL			
	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
SEMANA 1	0,92	0,676	26,52173913	SEMANA 1	0,3	0,28	6,666666667	SEMANA 1	38	30	21,05263158
SEMANA 2	0,91	0,62	31,86813187	SEMANA 2	0,3	0,27	10	SEMANA 2	42	29	30,95238095
SEMANA 3	0,93	0,61	34,40860215	SEMANA 3	0,32	0,27	15,625	SEMANA 3	47	30	36,17021277
SEMANA 4	0,9	0,59	34,44444444	SEMANA 4	0,28	0,18	35,71428571	SEMANA 4	53	31	41,50943396
PROMEDIO	0,915	0,624	31,80327869	PROMEDIO	0,3	0,25	16,66666667	PROMEDIO	45	30	33,33333333
AMONIO T1 CASCARILLA DE ARROZ				NITRITO T1 CASCARILLA DE ARROZ				NITRATO T1 CASCARILLA DE ARROZ			
	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
SEMANA 1	1	1	0	SEMANA 1	0,18	0,18	0	SEMANA 1	32	30	6,25
SEMANA 2	0,5	0,5	0	SEMANA 2	0,29	0,23	20,68965517	SEMANA 2	41	27	34,14634146
SEMANA 3	1	0,83	17	SEMANA 3	0,28	0,18	35,71428571	SEMANA 3	40	26	35
SEMANA 4	1	0,67	33	SEMANA 4	0,25	0,16	36	SEMANA 4	47	27	42,55319149
PROMEDIO	0,875	0,75	14,28571429	PROMEDIO	0,25	0,1875	25	PROMEDIO	40	27,5	31,25
AMONIO T2 FIBRA DE COCO				NITRITO T2 FIBRA DE COCO				NITRATO T2 FIBRA DE COCO			
	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
SEMANA 1	1	0,82	18	SEMANA 1	0,18	0,062	65,55555556	SEMANA 1	30	22	26,66666667
SEMANA 2	1	0,8	20	SEMANA 2	0,25	0,068	72,8	SEMANA 2	39	28	28,20512821
SEMANA 3	0,5	0,38	24	SEMANA 3	0,29	0,063	78,27586207	SEMANA 3	45	30	33,33333333
SEMANA 4	1	0,25	75	SEMANA 4	0,28	0,057	79,64285714	SEMANA 4	46	26	43,47826087
PROMEDIO	0,875	0,5625	35,71428571	PROMEDIO	0,25	0,0625	75	PROMEDIO	40	26,5	33,75
AMONIO T3 SIN SUSTRATO				NITRITO T3 SIN SUSTRATO				NITRATO T3 SIN SUSTRATO			
	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
SEMANA 1	1	1	0	SEMANA 1	0,28	0,28	0	SEMANA 1	32	32	0
SEMANA 2	0,5	0,5	0	SEMANA 2	0,27	0,27	0	SEMANA 2	41	41	0
SEMANA 3	1	1	0	SEMANA 3	0,27	0,27	0	SEMANA 3	40	40	0
SEMANA 4	1	1	0	SEMANA 4	0,18	0,18	0	SEMANA 4	47	47	0
PROMEDIO	0,875	0,875	0	PROMEDIO	0,25	0,25	0	PROMEDIO	40	40	0

ANEXO T. Datos talla y peso sistema convencional.

VARIABLES PRODUCTIVAS EN EL SISTEMA CONVENCIONAL PARA EL CULTIVO DE TRUCHA (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)																	
SEMANA 0			SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3			SEMANA 4			SEMANA 5		
N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)
1	10	15,09	1	11,5	18,67	1	13	28,95	1	13,5	35,43	1	15	39,8	1	15,9	49,65
2	11	14,83	2	12	20,89	2	12	30,6	2	14	34,69	2	15,5	39	2	16,9	50,09
3	10	15,71	3	12	21,9	3	12,5	29,45	3	14	33,98	3	14,8	38,9	3	17	48,98
4	13	15,79	4	11,5	19,45	4	12,9	31,06	4	14	34,6	4	15	38,54	4	15,5	48,76
5	10	15,7	5	12	20,4	5	13,5	30,98	5	13	34	5	14,5	40	5	16	49,99
6	10	14,6	6	11,8	22	6	13	27,8	6	13,9	32,7	6	15,5	40,9	6	15,8	50
7	10	15,98	7	13	19,8	7	13,5	28,34	7	14	32,9	7	15	40,05	7	17,3	49,24
8	12	15,95	8	12,5	21,9	8	13	31	8	14,5	35	8	15	39,87	8	16	47,98
9	10	15,84	9	13	22,63	9	13,5	29,9	9	13,5	34,68	9	15,5	39,67	9	16,9	49,5
10	11	15,46	10	12,8	21,78	10	12,5	30,72	10	14	33	10	14,5	40	10	15	49
PROMEDIO	10,7	15,495	PROMEDIO	12,21	20,942	PROMEDIO	12,94	29,88	PROMEDIO	13,84	34,098	PROMEDIO	15,03	39,673	PROMEDIO	16,23	49,319

ANEXO U. Datos talla y peso sistema acuapónico.

VARIABLES PRODUCTIVAS EN EL SISTEMA ACUAPONICO PARA EL CULTIVO DE TRUCHA (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)																	
SEMANA 0			SEMANA 1			SEMANA 2			SEMANA 3			SEMANA 4			SEMANA 5		
N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)	N ANIMALES	TALLA(cm)	PESO (GR)
1	10	11	1	12	19,4	1	15,5	27,65	1	17,5	36,9	1	19,9	45,21	1	22,4	57,7
2	9	13,43	2	12,5	18,57	2	14	28	2	16,9	36,3	2	20	46	2	22,6	58,3
3	13	17,47	3	12	18	3	14,5	28,08	3	17	36,2	3	20,4	45	3	22,5	59,5
4	9	15,09	4	11,5	19	4	15	27,98	4	18	37,5	4	19,98	46,87	4	23,5	59,73
5	12	17,4	5	13	19,04	5	15,5	28,9	5	17,9	36,2	5	20	44,51	5	22,9	48,09
6	10	16,7	6	12	18,06	6	14	27	6	18	37	6	19,5	45,5	6	23,7	60,05
7	10	14,8	7	13	19,2	7	15	27,43	7	17,5	36,09	7	20,05	46,08	7	22,9	58,68
8	12	16,9	8	12	18,57	8	15	28,7	8	18	37,32	8	19,8	45,68	8	23	57,95
9	11	17,6	9	12	17,98	9	15,5	27,58	9	18,5	37,61	9	19	46,98	9	23	60,45
10	11	13,9	10	12,5	19	10	15	28,61	10	19	37,11	10	20	45,95	10	22,8	59,98
PROMEDIO	10,7	15,429	PROMEDIO	12,25	18,682	PROMEDIO	14,9	27,993	PROMEDIO	17,83	36,823	PROMEDIO	19,863	45,778	PROMEDIO	22,93	58,043

ANEXO V. Incremento de peso semanal

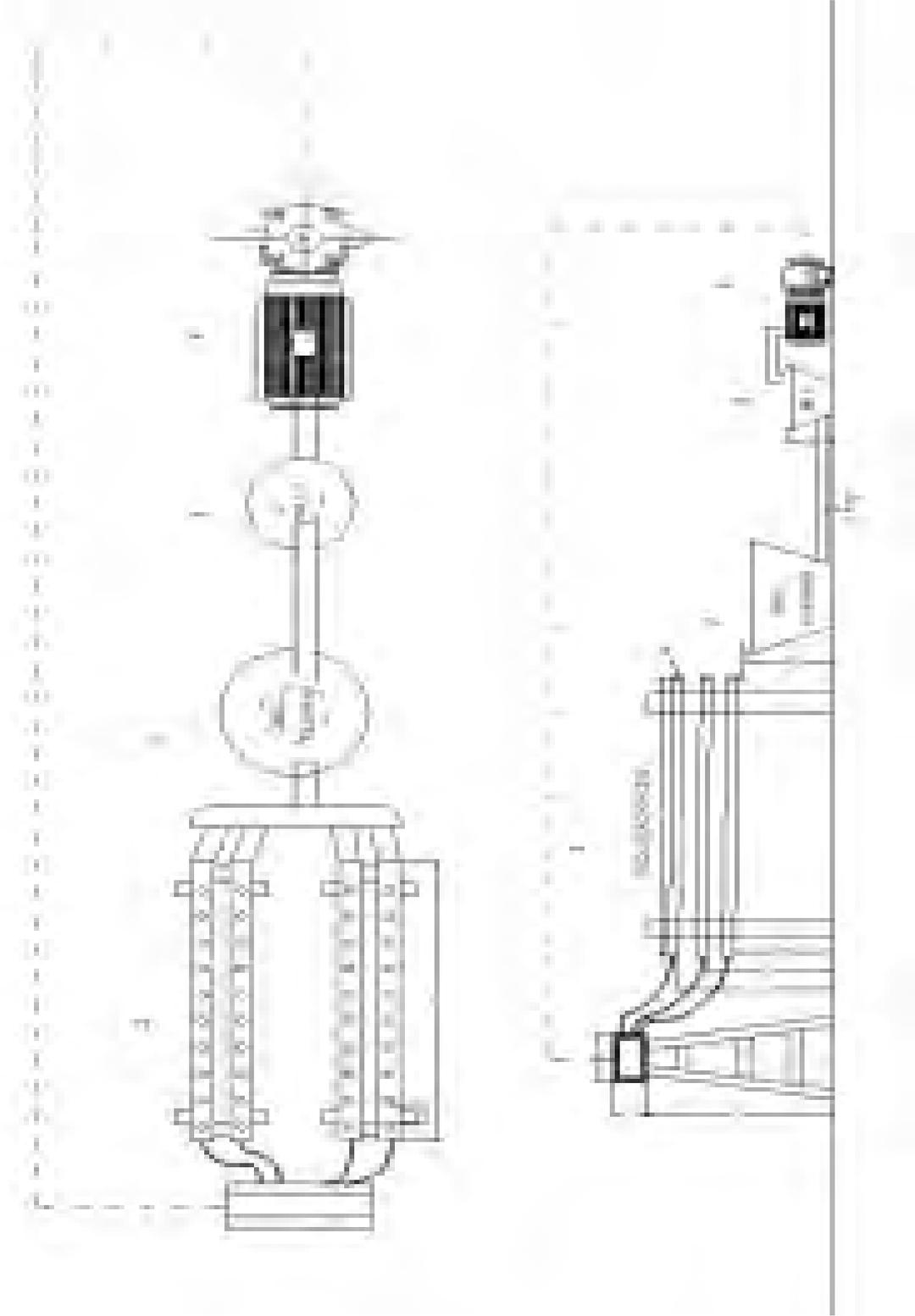
INCREMENTO DE PESO		
Semana	Acuapónico	Convencional
1	3,1885273	5,237178904
2	6,739899758	5,923877473
3	4,569469517	2,200822855
4	3,628016274	2,523868734
5	3,95634148	3,627309113

ANEXO W. incremento de talla semanal

INCREMENTO DE TALLA		
Semana	Acuapónico	Convencional
1	3,266087171	2,200192444
2	3,263921266	0,967800016
3	2,992020315	1,120661019
4	1,799604546	1,374754226
5	2,393123204	1,280219629

ANEXO X. PLANO FRONTAL SISTEMA ACUAPÓNICO

g



ANEXO Y. COMPOSICIÓN ALIMENTO.

HUMEDAD (Max.)	10%
PROTEINA (Min.)	45%
GRASA (Min.)	14%
FIBRA (Max.)	2%
CENIZAS (Max.)	12%

ANEXO Z. Supervivencia

SUPERVIVENCIA		
Semana	Acuaponico	Convencional
1	75	75
2	75	60
3	75	38
4	75	10