

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, UNAN-León
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS Y VETERINARIA
DEPARTAMENTO DE ACUICOLA
INGENIERIA ACUICOLA.



Monografía para optar al grado de Ingeniero Acuícola.

Título:

Evaluación de la capacidad de absorción de nutrientes usando lechuga (*Lactuca sativa* L) en un sistema acuapónico de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*.).

Autores:

Br. Edling Jahaleth Castro Carrión.

Br. Gabriel Antonio Mayorga Rodríguez

Br. Oscar Danilo Paredes Centeno

León, febrero 2020

“A la libertad por la universidad”

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, UNAN- León
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS Y VETERINARIA
DEPARTAMENTO DE ACUICOLA
INGENIERIA ACUICOLA.



Monografía para optar al grado de Ingeniero Acuícola.

Título:

Evaluación de la capacidad de absorción de nutrientes usando lechuga (*Lactuca sativa L*) en un sistema acuapónico de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*.).

Autores:

Br. Edling Jahaleth Castro Carrión
Br. Gabriel Antonio Mayorga Rodríguez
Br. Oscar Danilo Paredes Centeno

Tutor:

Ing. Silvio Javier Lara Hernández
PhD. Ariel José Aguilar

Asesores:

Lic. Grettel Marisol Hernández Fernández
M.Sc. Katherine Osorio Urtecho

León, febrero 2020

“A la libertad por la universidad”

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, también por ser el apoyo y fortaleza en momentos de dificultad y de debilidad, por darnos la oportunidad de culminar nuestros estudios.

Gracias a nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A cada uno de nuestros profesores, por darnos las herramientas necesarias para enfrentar los obstáculos en nuestra formación integral, que quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a los docentes Ing. Silvio Lara (Tutor), Dr. Ariel Aguilar (Tutor), Lic. Grettel Hernández y M.sc. Katherine Osorio (Asesores) por estar desde el inicio hasta el final de nuestro trabajo.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios ante todas las cosas por ayudarnos a seguir juntos de buena fe para poder culminar nuestro trabajo investigativo, a nuestros padres que con su amor, paciencia y esfuerzo nos han permitido hoy un sueño más, gracias por inculcar en nosotros el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A nuestra alma mater UNAN-León por permitirnos estar en un lugar que nos enriqueció de conocimientos y obtener un aprendizaje digno de valores y actitudes para nuestra futura profesión.

A todos y cada uno de nuestros profesores, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y llevar a cabo nuestra investigación.

RESUMEN

La presente investigación evaluó las fluctuaciones de los niveles de amonio, nitrato y fosfatos, en un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*Lactuca sativa L*) como organismo receptor de nutrientes y tilapia (*Oreochromis niloticus*) como especie de cultivo, en la estación acuícola experimental de la UNAN-León. Se sembraron 100 organismos de tilapia en un estanque de $6m^3$, se inóculo un probiótico (EM) que contiene un coctel de bacterias nitrificantes y solubilizadoras de fosfato, el agua del estanque se maduró por 15 días con el objetivo que la carga bacteriana y de nutrientes aumentara, una vez pasado los 15 días de maduración se sembraron 189 plantas en el sistema de recirculación de la película de nutrientes (NFT), posteriormente el agua se bombeó por tuberías hacia el sistema (NFT), reteniendo el agua por 90 minutos, tomando muestras en intervalos de tiempo 0, 30, 60, y 90 minutos respectivamente después de detenida la recirculación. Nuestros resultados muestran que los niveles de amonio, nitrato y fosfatos, disminuyen significativamente las concentraciones en el cuerpo de agua en los primeros 30 minutos y se mantiene hasta los 90 minutos, así mismo se observó correlación positiva sobre 0.9 y con una $P \leq 0.05$ en la fluctuación de los metabolitos testados.

CERTIFICAN

Silvio Javier Lara Hernández, profesor adjunto del Departamento de Ingeniería Acuícola de la Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinaria y Ariel José Aguilar, profesor Titular del Departamento de Biología, Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, (UNAN-León).

CERTIFICAN:

Que la presente memoria titulada “Evaluación de la capacidad de absorción de nutrientes usando lechuga (*Lactuca sativa* L) en un sistema acuapónico de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*.) en la Estación Acuícola Experimental de la Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinaria de la UNAN-León, marzo - abril de 2019.” Presentada por los bachilleres Edling Jahaleth Castro Carrión, Gabriel Antonio Mayorga Rodríguez y Oscar Danilo Paredes Centeno para optar al grado de Ingeniero Acuícola por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, ha sido realizada bajo nuestra dirección y que hallándose concluida autorizamos su presentación para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que así conste y surta efectos oportunos, firmamos la presente en León, a los _____ días del mes de _____ del año 2019.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
CERTIFICAN	iv
INDICE DE TABLAS	4
INDICE DE FIGURAS	4
I. INTRODUCCION	5
II. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo General.....	8
2.2 Objetivo Específico.	8
III. MARCO TEORICO.	9
3.1 Sistema acuapónico	9
3.1.1 Principio de un sistema acuapónico.....	9
3.1.2 Filtración mecánica	10
3.1.3 Mineralización	11
3.1.4 Filtración biológica	12
3.1.5 Diseño de unidades acuapónicos	13
3.1.6 Peces y plantas en Acuaponía.....	14
3.2 Calidad de agua	16

3.2.1 Temperatura	16
3.2.2 Oxígeno.....	17
3.2.3 pH	18
3.2.3 Amonio.....	19
3.2.5 Nitritos y nitratos	21
3.2.6 Fósforo.....	22
3.3 Morfología y taxonomía de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	23
3.3.1 Taxonomía, Tilapia	23
3.3.2 Morfología externa.....	23
3.3.3 Morfología interna	25
3.4 Morfología y taxónoma de la lechuga (<i>Lactuca sativa L</i>).....	26
3.4.1 Clasificación taxonómica	26
3.4.2 Morfología.....	26
IV. DISEÑO METODOLOGICO.....	28
4.1 Tipo de estudio.....	28
4.2 Diseño experimental.....	28
4.2.1 Diseño de infraestructura.....	28
4.2.2 Diseño del experimento	29
4.3. Toma de muestras.....	30
4.4 Análisis estadístico	30

V.	RESULTADOS.....	31
5.1	Amonio	31
5.2	Nitrato.....	32
5.3	Fosfato	33
5.4	Ritmo de decrecimiento de nutrientes en el agua.....	34
5.6	Relación entre la fluctuación de los niveles de amonio, nitrato y fosfato.....	34
5.7	Discusión.....	35
5.7.1	Fluctuación de los niveles de Amonio.....	36
5.7.2	Fluctuación de los niveles de nitrato	36
5.7.3	Fluctuación de los niveles de fosfato	37
5.7.4	Correlación de los parámetros amonio-nitrato-fosfato	38
VI.	CONCLUSIONES.	39
VII.	RECOMENDACIONES.	40
VIII.	BIBLIOGRAFIA.....	41
IX.	ANEXOS.	47
9.1	Glosario	47
9.2	Abreviaturas	50
9.3	Descripción visual del diseño metodológico	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos y valores óptimos de temperatura, pH, amonio, nitrito, nitrato y oxígeno disuelto (OD) en un sistema acuapónico.....	19
Tabla 2 Valores de pendiente del comportamiento de los niveles de Amonio, Nitrato y Fosfato en los diferentes intervalos de tiempo diseñados en el experimento.	34
Tabla 3 Correlación de los parámetros amonio, nitrato y fosfato.	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Secuencia de los componentes de un sistema acuapónico. (Muños, 2012)	10
Figura 2 Ciclo del nitrógeno en sistemas acuáticos.	20
Figura 3 Fluctuación del nivel de amonio en el sistema acuapónico en tiempos de 30, 60 y 90 minutos. Cada valor se corresponde a la media $\pm$ EEM, N=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre grupos.	31
Figura 4. Fluctuación del nivel de nitrato en el sistema acuapónico en tiempos de 30, 60 y 90 minutos. Cada valor se corresponde a la media $\pm$ EEM, N=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre grupos.	32
Figura 5 Fluctuación del nivel de fosfato en el sistema acuapónico en tiempos de 30, 60, y 90 minutos. Cada valor se corresponde a la media $\pm$ EEM, N=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre grupos.	33

I. INTRODUCCION

En Nicaragua la acuicultura utiliza sistemas acuícolas de gran demanda de agua y muy pocos de recirculación. La gran demanda de agua de los sistemas acuícolas convencionales es debido a las excreciones de compuestos nitrogenados por los peces y la forma de regular estos compuestos es el recambio de agua, desechando el agua cargada con nutrientes potencialmente peligrosos para los peces y a su vez metiendo agua limpia, generando el desperdicio de mucha agua en el proceso. Por otro lado, un sistema de recirculación de agua convencional requiere demasiada infraestructura, altos costos en la aplicación y de mantenimiento, sin embargo, la aplicación de sistemas de recirculación convencionales solo representa el beneficio de un buen aprovechamiento del agua, un ligero beneficio en la obtención de biomasa lo cual se traduce en altos costos de producción y pocos beneficios económicos, lo que limita más la utilización de estos sistemas de recirculación. El gran consumo de agua para la implementación de cultivos representa un problema para el desarrollo sostenible de la acuicultura y en especial los cultivos de agua dulce como la tilapia, esto es debido a las sequias y consecuencias del cambio climático.

Nicaragua es un país altamente vulnerable a sufrir las consecuencias del cambio climático cuyas primeras alteraciones ya se han modificado, afectando la climatología del país, mediante pocas o muchas lluvias, altas temperaturas, ríos que se secan, lo que afectan las cosechas y provoca la pérdida del mundo animal y vegetal, de la cual

dependen tantas formas de sobrevivencia y desarrollo territorial, así como de salud y en la educación poblacional. (Betanco y zúniga, 2016, pág. 181)

Es preciso implementar un sistema que pueda contrarrestar la desventaja de un sistema de recirculación convencional, que pueda dejar de lado la limitante de los altos costos de producción y los pocos beneficios económicos que se obtienen, una respuesta a estos problemas es la acuaponía. Los sistemas acuapónicos son sistemas sumamente amigables con el medio ambiente y proporcionan una repuesta al uso excesivo de agua en los sistemas de producción y al tener dos cultivos, uno acuapónico y uno hidropónico se puede obtener mejores resultados productivos y por ende económicos, permitiendo un desarrollo sostenible de la acuicultura. Un sistema acuapónico con un buen diseño, funcionamiento adecuado y el debido mantenimiento es capaz de reducir en un 90% los requerimientos de agua en comparación con un cultivo normal de peces, además permite aumentar la producción, bajar costos sin tener que tener grandes extensiones de tierra y todo esto solo utilizando una décima parte del agua que utiliza un cultivo tradicional, no obstante a lo anterior se puede tener hasta 500 plantas por metro cuadrado. Se ha documentado que por cada tonelada de pescado que se produce se puede obtener hasta 7 toneladas de cualquier vegetal que se cultive (Aguilera, Hernandez, Mendieta, y Herrera, 2012).

Es por ello que esta investigación se basa en la implementación de un sistema acuapónico evaluando la capacidad de absorción de la lechuga, de nutrientes que se encuentran en un estanque acuícola. Muchos de estos nutrientes en altas

concentraciones son tóxicos para los peces. Ejemplo de ello es el amonio que a través de las bacterias es transformado en nitrito y posteriormente en nitrato siendo este último lo que absorben las plantas, en este caso las lechugas (*Lactuca sativa L.*). Para la evaluación de la capacidad de eliminar estos compuestos del cuerpo de agua se medirán las concentraciones presente en el estanque inicialmente (0 minutos), luego 30, 60 y 90 minutos se toman muestras de agua del sistema de recirculación de la película de nutrientes (NFT) que es donde se encuentran las lechugas, con el fin de medir las fluctuaciones en relación al tiempo con mayor pendiente y poder correlacionarlas para determinar la significancia de absorción de la lechuga en un sistema acuapónico.

II. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo General.

Evaluar la fluctuación de los niveles de amonio, nitrato y fosfato en un sistema de tratamiento acuapónico, usando lechuga (*Lactuca sativa L*) como organismo receptor de nutrientes y tilapia (*Oreochromis niloticus*) como especie de cultivo.

2.2 Objetivo Específico.

- Determinar las fluctuaciones de los niveles de amonio, nitrato y fosfato en intervalos de tiempos 30, 60, 90 minutos en un sistema de cultivo acuapónico.

- Correlacionar la fluctuación de la concentración de amonio, nitrato y fosfato en intervalos de tiempo de 30, 60, 90 minutos.

III. MARCO TEORICO.

3.1 Sistema acuapónico

3.1.1 Principio de un sistema acuapónico

El principio de un sistema acuapónico se basa en que los nutrientes requeridos para el crecimiento y desarrollo de plantas se pueden obtener de los residuos producidos por los peces con la subsecuente biorremediación del cuerpo de agua.

Basado en el principio de un sistema acuapónico, Ovando (2017) menciona que solo una pequeña parte del alimento suministrado a los peces es aprovechado (20 a 30% de la cantidad total de alimento), incorporándolo como tejido muscular y el resto es excreción alimento no consumido y diluido. Los residuos orgánicos que liberan los peces, son transformados por microorganismos, a través de sistemas aeróbicos, en nutrientes que aprovechan las plantas extrayendo del agua lo que necesitan para su crecimiento haciendo la función de filtro natural lo que nos resulta en un ambiente donde plantas y peces pueden vivir y prosperar en una simbiosis de crecimiento saludable entre plantas y peces. Por otra parte, los tratamientos comunes de descargas de los sistemas de recirculación acuícola (SRA) y de hidroponía en la agricultura tienen altos costos por lo que integrar estos dos sistemas, en uno se convierten en una alternativa para el tratamiento de las descargas acuícolas y agrícolas. En la figura 1 se observa el esquema de la integración de estos dos sistemas.

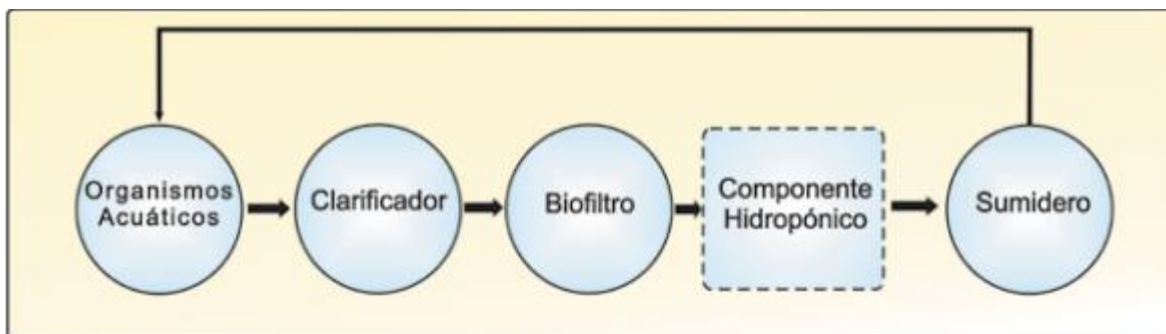


Figura 1. Secuencia de los componentes de un sistema acuapónico. (Muños, 2012)

3.1.2 Filtración mecánica

Algo muy importante en la elaboración de un sistema acuapónico es la eliminación de partículas en suspensión y de materia orgánica que se encuentren en flotación o sedimentadas en el estanque, esto para evitar que se adhieran a las raíces de las plantas y provoquen deterioro de la raíz y en menor grado reducir la absorción de nutrientes de la planta.

De acuerdo con Candarle (2006) existen muchos mecanismos para la remoción de sólidos y que esto se encuentran en dependencia del tamaño de partículas que se quiera retener en el filtro y que por general los más utilizados en acuaponía son el filtro de decantación o sedimentación que filtran partículas mayores a 100 micras (μm) además de utilizar otros métodos combinados si se requiere filtrar partículas menores.

Los desperdicios sólidos atrapados en el filtro además de removerlos del sistema de recirculación cumple la función de retenerlos por periodos cortos para realizar la mineralización siendo este proceso de suma importancia para el sistema debido que posteriormente ayudará a un proceso llamado filtración biológica, tomar en cuenta que

si los sólidos se retienen por mucho tiempo afectaría la proliferación de las bacterias nitrificantes y benéficas, inhibiendo el desarrollo de las bacterias nitrificantes en pocas palabras es necesario remover los sólidos acumulados pero no en su totalidad para mantener una adecuada dinámica de los nutrientes y salud del sistema acuapónico.

3.1.3 Mineralización

Es el proceso mediante el cual los sólidos de materia orgánica liberan nutrientes al agua, de acuerdo con Candarle (2006) este proceso se lleva a cabo mediante microorganismos presentes en el sistema como son las bacterias heterotróficas, los hongos, otros organismos superiores que utilizan como energía carbono orgánico y que solo se centralizan en la descomposición de los residuos sólidos dejando disponibles micronutrientes esenciales, estos organismos al igual que las bacterias nitrificantes necesitan condiciones aérobicas para su desarrollo y un proceso exitoso de mineralización en el agua.

El mayor tiempo de retención de los sólidos prolongaría el proceso de mineralización y por esta razón producirá un mayor número de compuestos disponibles para las plantas, sin embargo, el mal manejo de estos sólidos puede acumularse y tapar cañerías lo que puede generar condiciones de anoxia al agotarse el oxígeno y además producir ácido sulfhídrico y la liberación de oxígeno gaseoso, por otra parte, si se retienen por poco tiempo, los sólidos o se eliminan con mucha frecuencia se puede causar deficiencia de nutrientes afectando el desarrollo de las plantas por falta de nutrientes, la forma de realizar

una abundante mineralización es teniendo un contenedor específico con abundante oxigenación y flujo de agua.

3.1.4 Filtración biológica

Cuando se aplica un sistema de recirculación los procesos biológicos tienen mucha importancia, como lo es la nitrificación dicho esto, los procesos biológicos se realizan en contenedores con algún tipo de material poroso ya sea natural o sintético, todo esto para cumplir un papel importante el cual es primeramente convertir los metabolitos, como el amonio en algo menos tóxicos para los peces y este producto obtenido pasarlo a un compuesto asimilable para las plantas (Ovando, 2017).

Los metabolitos tóxicos que se encuentran en el estanque, como amoníaco (NH_3) y el nitrito (NO_2^-). El nitrógeno amoniacal total ($NH_3 + NH_4^+$) son desechados por los peces a través de las excretas de las heces, orina y por otra parte es producido también por el actuar de las bacterias sobre el alimento no consumido y la materia orgánica (Ingle, Villareal, Arredondo, Ponce, y Barriga, 2003).

Los metabolitos tóxicos anteriormente mencionados son transformados por bacterias en un proceso llamado nitrificación y está a su vez se divide en dos la nitritación y nitratación siendo la primera, el proceso en el cual el amonio (NH_4^+) es oxidado, a nitrito (NO_2^-) por bacterias y de las cuales se tienen dos especies principales capaces de realizar esta tarea: *nitrosomonas* y *nitrospira*, y el segundo es el proceso en el que se realiza la oxidación de los nitrito (NO_2^-) a nitrato (NO_3^-). Este último es el producto final,

siendo realizado principalmente por 4 especies de bacterias las cuales son: *nitrobacter*, *nitrospina*, *nitrococcus* y *nitrospira oxida* (Sánchez y Sanabria, 2009).

3.1.4.1 Probióticos

Los microorganismos (bacterias) involucradas en el proceso de nitrificación lo podemos encontrar en productos que actualmente para acuicultura le denominan “probióticos” que de acuerdo con la extensión de la definición de la palabra es la aplicación de microorganismos vivos en estanques acuícolas, estos productos que son conocidos como “probióticos” contienen bacterias nitrificantes y/o *Bacillus spp*, (Gatesoupe, 1998)

3.1.5 Diseño de unidades acuapónicas

En general, los elementos esenciales para la elaboración de un sistema acuapónico están establecidos, pero pueden variar conforme a los recursos del creador o propietario. De acuerdo con Muñoz (2012) las partes elementales de un sistema acuapónico son las siguientes:

- 1) Un tanque para mantener los peces (u otros organismos acuáticos) fácil de limpiar y accesible para el momento de la cosecha.
- 2) Un clarificador para remover las partículas originadas a partir de los desechos de los peces, las algas y el alimento no consumido. El clarificador puede ser un tanque de sedimentación o algún tipo de filtro de selección para que las raíces de las plantas se protejan de la acumulación de los desechos orgánicos.

3) Un biofiltro para convertir el amonio tóxico liberado por los peces en nitrato inofensivo, el cual es un buen alimento para las plantas. Tres cosas son necesarias para la óptima operación de un biofiltro: a) bacterias nitrificantes, las cuales se encuentran en los ambientes terrestres y acuáticos; b) un sustrato para que las bacterias se adhieran (arena, grava, plásticos, etc.) y c) oxígeno.

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

5) Un sumidero, donde el agua pueda ser recolectada para que sea direccionada de nuevo hacia el tanque de cultivo de peces (pág. 124). Ver figura 1 para ver todos los componentes aquí mencionados.

3.1.6 Peces y plantas en Acuaponía

3.1.6.1 Plantas utilizadas en Acuaponía

La elección de las plantas para la utilización en nuestro sistema acuapónico es de mucha importancia debido a que no se pueden utilizar todas las plantas en todos los sistemas. De manera general Ramírez, Sabogal, Jiménez, y Hurtado (2008) recomienda que “En términos generales se deben preferir plantas verdes, cuya parte comercial no sea el fruto y que sean de ciclo corto” (pág. 39).

Entre las especies de vegetales que más se han utilizados en los sistemas acuapónicos podemos encontrar la lechuga (*Lactuca sativa*), la espinaca (*Spinacia oleracea*) las cebolletas (*Allium cepa*) y la albahaca (*Ocimum basilicum*) entre otras, ya que una de las características particulares de estos vegetales es que tienen bajos requerimientos nutricionales y están bien adaptadas a los sistemas de recirculación acuapónicos, a diferencia de las plantas que producen frutos como los tomates (*Solanum lycopersicum*), los pimientos (*Capsicum annuum*) y los pepinos (*Cucumis sativus*) que tienen una mayor demanda nutricional y se desarrollan mejor en sistemas acuapónico más complejos. (Ovando, 2017, pág. 21)

3.1.6.2 Peces utilizados en Acuaponía

Según Ramírez et al. (2008) “Se pueden utilizar diversas especies de peces” (pág. 38). Una gran cantidad de especies de peces de agua dulce, tanto de agua fría como cálidas, están adaptadas a los sistemas de recirculación acuapónico. Entre estas se incluyen la cachama (*Colossoma macropomum*), carpa koi (*Cyprinus carpio*), Murray code (*Maccullochella peelii*), la carpa dorada (*Carassius auratus*), perca europea (*Perca fluviatilis*) y Artic char (*Salvelinus alpinus*). También se han utilizado especies como la carpa (*Cyprinus carpio*); híbridos de carpa (*Ctenopharyngodon idella* X *Aristichthys nobilis*); goldfish (*Carassius sp.*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) Sin embargo, las especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y los híbridos de tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum* X *Oreochromis mosambicus*) han demostrado ser las especies más utilizadas y exitosas en los sistemas acuapónicos, esto debido a que son poco exigentes en cuanto a la calidad del agua, además de tolerar temperaturas que van desde los 12 a

los 37°C y bajos niveles de oxígeno disuelto, por lo que los hace más rentables en estos sistemas. (Ovando, 2017, pág. 20)

3.2 Calidad de agua

3.2.1 Temperatura

Según Ascencio, Del Valle, y Velásquez,(2019) las temperaturas óptimas para el cultivo de tilapia están en el rango de 28-32 °C, cuando las temperaturas son mayores a 30 °C los peces consumen mas oxígeno y cuando bajan a 15 °C los peces dejan de comer y si decaen a menos de 12 °C no sobrevivirán por mucho tiempo. También cabe mencionar que cambios repentinos de la temperatura mayores a 5°C provoca síntomas de estrés y en algunos casos la muerte.

La temperatura influye en la velocidad de los procesos de nitrificación, como lo hace notar Zornoza, et al.(2011) hay una reducción significativa de la velocidad de nitrificación con la disminución de la temperatura, el cambio a temperaturas de 8°C a 30°C aumenta considerablemente la tasa de crecimiento de las bacterias nitrificantes y se obtiene un aumento del 10 % por cada grado de aumento en el género *nitrosomonas*. Debido a que la velocidad del proceso disminuye considerablemente en valores bajos de temperatura sería muy difícil que se lograra el proceso de nitrificación a bajas temperaturas.

Como señala Hernández y Hernández (2005) la lechuga es una planta que se adapta mejor a las bajas temperaturas que a las altas y cuyas temperaturas óptimas para su

crecimiento están entre los rangos de 18 a 23°C durante el día y de 7 a 15° durante la noche, siendo la temperatura máxima que puede soportar 30° y la menor temperatura soportada es de hasta -6°C. Sin embargo, estas temperaturas son generales, cada tipo de lechuga tiene requerimientos propios de temperatura para su crecimiento

3.2.2 Oxígeno

Satre (2004) “Plantea que “El oxígeno disuelto es probablemente la variable de calidad de agua más crítica en el cultivo de organismos acuáticos” (citado en Valbuena y Cruz, 2006, p.58). De acuerdo con. Savedra (2006) las tilapias soportan niveles de de oxígeno de 1 mg/l y en periodos cortos niveles menores. Los valores más convenientes para un cultivo de tilapia son mayores de 2 mg/l especialmente en ausencia de luz.

Los procesos bacterianos que se realizan en el estanque y en el filtro necesitan de ambientes aeróbicos y estos procesos no se pudieran realizar si el oxígeno no se encuentra presente, como lo hace notar Sánchez y Sanabria (2009) donde señalan que dichas reacciones son ejecutadas por bacterias quimiolitotóxicas (bacterias que obtienen energía mediante la oxidación de compuestos inorgánicos como el amonio) para que su crecimiento dependa totalmente de la oxidación del amonio ionizado y al mismo tiempo obtienen energía para la generación de energía y su crecimiento. Este proceso es realizado con gran consumo de oxígeno con alrededor de 4.33 mg de oxígeno por cada mg de amonio ionizado oxidado.

Tanto los peces como las bacterias, las concentraciones bajas de oxígeno limitan características que solo con presencia de oxígeno pueden realizar de igual forma en las plantas limita el crecimiento y por ende su absorción, es por esto que Martínez (2013) indica que el oxígeno debe de mantenerse en concentraciones por encima de 3 mg/L y preferiblemente en 5 mg/L. ya que si se encuentra disminuido el oxígeno no se realizará un buen proceso de nitrificación, lo que genera desechos metabólicos sin filtrar y la acumulación de estos en niveles tóxicos para los peces y en el caso de las plantas dejan de crecer.

3.2.3 pH

El pH es de suma importancia para determinar el crecimiento de los organismos cultivados en agua, es por ello que diferentes niveles de pH afectan el crecimiento para mejor o peor y en ocasiones puede provocar estrés y hasta causar la muerte. Ascencio et al. (2019) sostiene que la tilapia crece mejor en aguas con pH neutros y su crecimiento se ve ligeramente reducido en aguas con niveles de pH ácidos, los niveles que toleran en pH bajos es de 5 máximo y un valor alcalino de 10 (durante las tardes) no afecta, pero su límite es de 11, no obstante, los valores óptimos para su crecimiento están en el rango de 6.5 y 9.

La importancia del pH no solo radica en los organismos cultivados en sistemas acuapónico, sino que también en los procesos bacterianos que ocurren en el sistema, al respecto González et al. (2010) señala “El pH influye sobre la tasa de crecimiento de las bacterias nitrificantes. Se ha observado que la tasa máxima de nitrificación se produce

entre valores de 7.2 a 9.0 aproximadamente, a valores inferiores a 6.5 la velocidad de nitrificación se reduce de forma brusca” (citado en Zornoza, et al., 2011.p. 3).

Tabla 1.
Rangos y valores óptimos de temperatura, pH, amonio, nitrito, nitrato y oxígeno disuelto (OD) en un sistema acuapónico.

Tipo de organismos.	Temp. (°C)	pH	Amonio(mg/l)	Nitritos (mg/l)	Nitrato (mg/l)	OD (mg/l)
Peces agua cálidas.	22-32	6-8.5	<3	<1	<400	4-6
Peces agua fría.	10-18	6-8.5	<1	<0.1	<400	6-8
Plantas.	16-30	5.5-7.5	<30	<1	-	>3
Bacterias nitrificantes.	14-34	6-8.5	<3	<1	-	4-8

Tabla creada de datos obtenidos de (Meza, 2018)

3.2.3 Amonio

El amoníaco o el amonio no ionizado (NH_3) es el producto principal del metabolismo de proteína en peces, crustáceos y otros organismos acuáticos. También las bacterias excretan amonio no ionizado como producto de la descomposición de la materia orgánica en medios acuosos. El amoníaco proviene específicamente del proceso catabólico de desanimación de los aminoácidos (AAs). El amonio no ionizado es una sustancia química muy tóxica a la vida animal (Meyer, 2004, pág. 45).

De acuerdo con Camargo y Alonso (2017) señala que el amonio ionizado y el amonio no ionizado tienen relación debido al equilibrio químico $NH_4^+ + OH^- \leftrightarrow NH_3 \cdot H_2O$ esto significa que las concentraciones relativas de amonio ionizado y no ionizado dependen básicamente del pH y la temperatura del agua es decir que a medida que el pH aumenta y la temperatura aumenta la concentración de amonio no ionizado aumenta y pasa lo contrario con el amonio ionizado ya que este disminuye lo que genera un problema ya que el amonio no ionizado es tóxico para los animales acuáticos, especialmente para los peces y el amonio ionizado es menos tóxico, sin embargo niveles elevados de sodio (Na^+) y calcio (Ca^{2+}) en un cultivo pueden reducir la sensibilidad a afectaciones por amonio no ionizado.

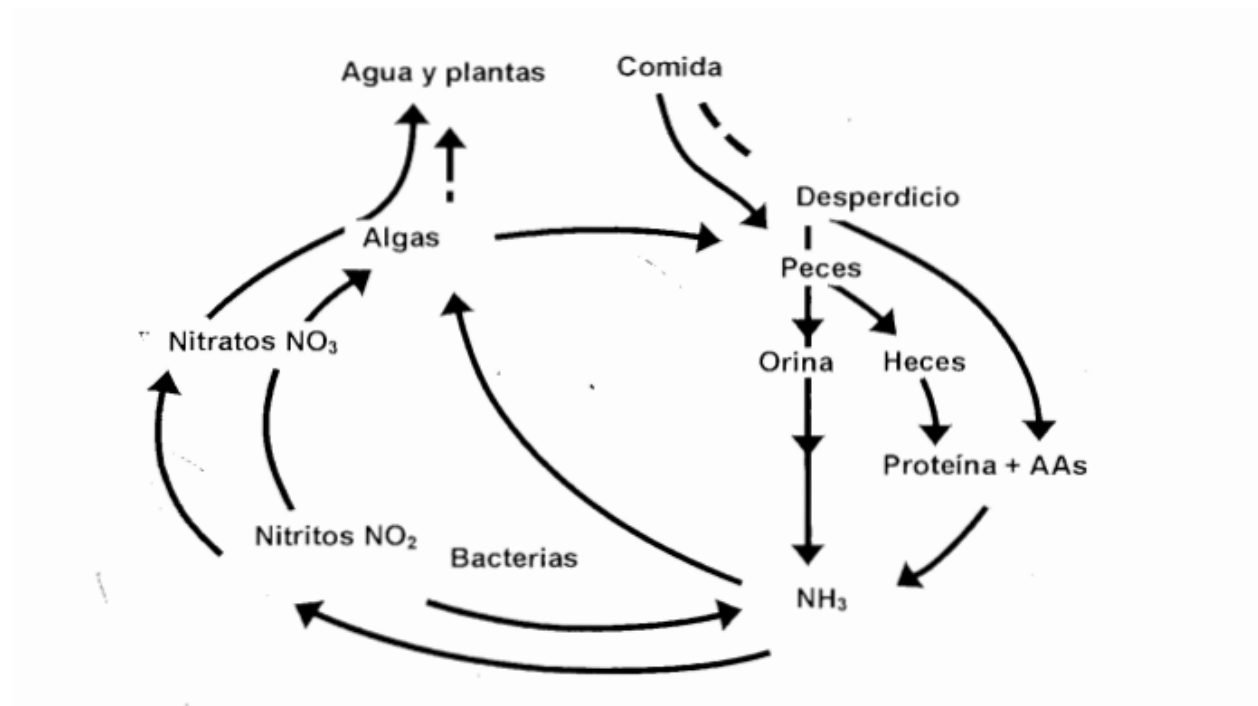


Figura 2. Ciclo del nitrógeno en sistemas acuáticos. (Meyer, 2004)

Como se mencionó anteriormente el amonio es más tóxico a altas temperaturas y también a concentraciones bajas de oxígeno disuelto. Ascencio et al. (2019) señala:

El amoníaco es más tóxico a altas temperaturas (más a 32° C que a 24° C, por ejemplo). La disminución del oxígeno disuelto también aumenta la toxicidad del amoníaco, disminuyendo el apetito y el crecimiento en los peces, a concentraciones tan bajas como 0,08 mg/l. (pág. 8).

3.2.5 Nitritos y nitratos

Los nitritos y nitratos son los productos obtenidos a través de la nitrificación y que son realizadas por bacterias en sistemas aeróbicos y que en altas concentraciones son peligrosas, aunque el valor máximo de nitrato es mayor al de nitrito. Bautista y Ruiz (2011) destaca que los niveles seguros de nitrato para los peces se encuentran entre los 0 y 40 ppm, pero cualquier valor superior a los 80 ppm pueden llegar a ser tóxico en el caso de nitritos superiores a 0.75 ppm son capaces de provocar estrés en los peces y valores mayores a 5 ppm pueden generar toxicidad.

Los nitritos y nitratos pueden servir de nutrientes para las plantas en sistemas de recirculación, así lo menciona sirven como fuente de alimento para las plantas. Estas a su vez al tomar estos nitratos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico. (Ramírez et al., 2008, pág. 33).

3.2.6 Fósforo

En los estanques acuícolas el fósforo es obtenido de la descomposición de la materia orgánica y de la excreta de heces de los peces, sus desechos son ricos en nitritos, nitratos y fosfatos.

La descomposición de la materia orgánica es un proceso adicional que permite que la adsorción de fosfato ocurra de dos maneras una directa y la otra indirecta. La directa libera fósforos listos para la absorción a través de las heces u otros compuestos orgánicos ricos en fosfato y la indirecta realiza el proceso de mineralización de la materia orgánica se libera fosfatos orgánicos a través de las bacterias. El proceso por el cual los fosfatos orgánicos se vuelven disponibles es a través de la reacción fosfatasa. La enzima fosfatasa es producida por las raíces de las plantas superiores o por muchos microorganismos, (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*) además las fosfatasas mineralizan fosfatos de las fitinas, ácidos nucleicos y fosfogliceratos (Mengel y Kirkby, 2000). Por otra parte, Luna y Mesa, (2016) describen que: Los microorganismos involucrados en la producción de enzimas fosfatasa, son levaduras como la *aspergillus* que sintetizan sustancias antimicrobiales y otras que son útiles para las plantas.

3.3 Morfología y taxonomía de la tilapia (*Oreochromis niloticus*)

3.3.1 Taxonomía, Tilapia

REYNO: Animalia

PHYLUM: Vertebrata

SUBPHYLUM: Craneata

SUPERCLASE: Gnathostomata

SERIE: Pisces

CLASE: Teleostomi

SUBCLASE: Actinopterygii

ORDEN: Perciformes

SUBORDEN: Percoidei

FAMILIA: Cichlidae

GENERO: *Oreochromis*

ESPECIE: *Oreochromis niloticus*, (Hurtado, 2005, pág. 23)

3.3.2 Morfología externa

La familia Cichlidae se caracteriza por presentar especies de coloración muy atractiva, principalmente las nativas de África, América Central y la parte Tropical de Sudamérica. Los miembros de la familia Cichlidae se diferencian de los Mojarra y de las Percas por presentar un solo orificio a cada lado de la cabeza, y que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. La tilapia nilótica presenta un color en general cenizo azulado, siendo el macho de un color más claro al de la hembra, diferenciándose de estas la tilapia roja, la cual presenta un tono rosado a rojo, pudiendo variar en partes del

cuerpo en ciertos casos. En *Oreochromis niloticus*, presenta en la aleta caudal franjas negras delgadas y verticales. El margen superior de la aleta dorsal es negra o gris. En machos, durante la reproducción, la superficie del cuerpo y las aletas anales, dorsales y pélvicas son negras, y la cabeza y el cuerpo tienen manchas negras.

El cuerpo generalmente es comprimido, corto, a menudo discoidal, y en ciertos casos alargada. Las tilapias según sea la especie tienen un número variable de branquiespinas; en el caso de la tilapia nilótica presenta de 20 a 26 y se distingue fácilmente porque su aleta caudal tiene rayas verticales. La cabeza y la cola en si son pequeñas pero el macho posee la cabeza más grande que el de la hembra, algunas veces según la edad y crecimiento el macho presenta tejidos grasos en la región anterior y dorsal de la cabeza (dimorfismo sexual).

La boca es ancha y protráctil, a menudo bordeado por labios gruesos. La mandíbula presenta pequeñísimos dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos, que le sirven para alimentarse de plantas. Pueden o no presentar un puente carnosos (conocido como freno), que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media debajo del labio. Pueden o no presentar membranas unidas por 5 a 6 branquiestegos y un número de branquiespinas. La parte anterior de las aletas dorsal y anal es siempre corta y consta de una espina y de radios suaves en su parte terminal, que en los machos suelen estar fuertemente pigmentados y las aletas ventrales presentan de 1 a 2 espinas y 5 radios.

La aleta caudal es pequeña, redondeada y trunca. Además, se observa la línea lateral en estos cíclidos interrumpida y presentándose generalmente dividido en dos partes: la superior que se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal y la inferior se inicia por debajo de donde termina la línea lateral superior hasta el final de la aleta caudal. Las tilapias poseen escamas del tipo cicloides, el número de las vértebras aumenta según la edad y pueden ser de 26 a 30. En la mayoría de Tilapias, los machos tienen mayor crecimiento que las hembras, aun cuando se cultiven por separado. La tilapia posee una gran habilidad para colonizar lagos y otros cuerpos de agua, aún en presencia de depredadores y de una fuerte competencia. Esta adaptación evolutiva puede ser atribuida a una característica morfológica de máxima versatilidad, el complejo mandibular – faríngeo. (Martínez y Mendoza, 2015, pág. 6).

3.3.3 Morfología interna

El sistema digestivo de la tilapia se inicia en la boca, que presenta en su interior dientes mandibulares (pueden ser unicúspides, bicúspides y tricúspides según las diferentes especies) y continúa con el esófago y el estómago. El intestino es en forma de tubo que se adelgaza después del píloro diferenciándose en dos partes: una anterior corta, que corresponde al duodeno, y una posterior más larga, aunque de menor diámetro. El intestino es siete veces más largo que la longitud total del cuerpo, característica que predomina en las especies herbívoras. Presenta dos glándulas importantes asociadas con el tracto digestivo: el hígado, que es un órgano grande y de estructura alargada y el páncreas, en forma de pequeños fragmentos redondos y difíciles de observar por estar incluidos en la grasa que rodea a los ciegos pilóricos. Órganos tales como el hígado o el

páncreas forman parte del aparato digestivo, teniendo funciones de favorecimiento de la digestión, por ejemplo, la regresión de bilis e incluso de generación de reservas como es el caso de formación de glucógeno. (Martinez y Mendoza, 2015, pág. 9).

3.4 Morfología y taxónoma de la lechuga (*Lactuca sativa* L)

3.4.1 Clasificación taxonómica

Reino	Plantae – Plantas.
Subreino	Tracheobionta – Plantas vasculares.
Superdivisión	Spermatophyta – Plantas con semilla.
División	Magnoliophyta – Plantas con flores.
Clase	Magnoliopsida – Dicotiledóneas.
Subclase	Asteridae.
Orden	Asterales.
Familia	Asteraceae.
Genero	<i>Lactuca</i> L.
Especie	<i>Lactuca sativa</i> L. (Martinez, 2008, pág. 19)

3.4.2 Morfología

Chávez y Medina (2003) describe que: La lechuga se caracteriza por que la raíz no sobrepasa los 25 cm de profundidad, es pivotante y con ramificaciones. Las hojas están dispuestas en roseta, desplegada al principio en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en algunos casos acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. Su tallo es cilíndrico. La inflorescencia

presenta capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos. Las semillas están provistas de un vilano plumoso. (citado en Martinez, 2008, pág. 20)

IV. DISEÑO METODOLOGICO.

4.1 Tipo de estudio

La investigación que se realizó es de origen experimental, se construyó un sistema de recirculación acuapónico para absorber nutrientes presentes en el agua del estanque, lo que nos permitió cuantificar los niveles de amonio, nitrato y fosfato en el proceso de recirculación del agua.

4.2 Diseño experimental

4.2.1 Diseño de infraestructura

Se construyó un estanque de 2 metros de ancho, 3 metros de largo y 1 metro de profundidad. Se cubrió con plástico calibre 1000, se estableció una base para colocar la bomba de agua periférica de $\frac{1}{2}$ caballo la cual estaba conectada del estanque hacia un filtro sedimentador que se elaboró a partir de un recipiente plástico de 12 galones, se rellenó con piedra triturada y se le colocaron dos capas de esponjas de dos pulgadas de grosor y 40 cm de diámetro.

Se estructuro la cama del sistema de recirculación de la película de nutrientes (NFT) instalando 16 postes de madera de 4" x 4" x 1.20 m a 1 metro de distancia uno del otro, cubriendo un área de nueve metros cuadrados. En la parte superior de los postes se colocaron reglas de 3" x 1" x 1 metro que estaban ubicadas de poste a poste con el objetivo de servir de sostén a 12 tubos de 2 pulgadas, los cuales se cortaron a 3 metros y se les colocaron tapones en los extremos donde se ubicaron mangueras flexibles de $\frac{1}{4}$ " pulgada en la entrada y de $\frac{1}{2}$ pulgada a la salida, estos tubos tenían orificios de un diámetro 1 $\frac{1}{4}$ " ubicados a 6 pulgadas uno del otro, se procedió a sujetar los tubos a la

cama a 25 cm de distancias uno del otro, todo esto se ubicó dentro de un invernadero con un área de 50 metros cuadrados, el cual se construyó uniendo dos tubos de PVC de una pulgada para formar un arco, se elaboraron 6 arcos para un total de 12 tubos y encima de estos arcos se puso una malla sarán de 60 % de entrada de luz la cual se sujetaba a los tubos con hilo enserado.

4.2.2 Diseño del experimento

Se sembraron 100 alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en 6m³ de agua. Se alimentó a los organismos tilapia con purina biocamaronina con 32% de proteína el cual se le suministraba 4 dietas al día cada 3 horas empezando alimentar a las 7 de la mañana. El alimento no consumido y las excretas de los peces son degradadas por un coctel de bacterias aplicadas a través de un probióticos (EM) facilitando la transformación del amonio en nitritos y nitratos, que quedaba en el cuerpo de agua del estanque y que por medio de una bomba el agua es llevada hacia el filtro sedimentador pasando posteriormente al sistema NFT donde se ubicaron 189 plantas de lechuga, (*Lactuca sativa L*) esto se realizó 15 días después de sembrados los organismos tilapias. Nutrientes como el fosfato y el nitrato fueron absorbidos por las plantas, una vez filtrada el agua regresaba al estanque, el tiempo de recirculación fue de 1 hora con 30 minutos de descanso, repitiendo este ciclo 8 veces, empezando a las 6 de la mañana y terminando a las 5:30 de la tarde, esto tiempos fueron programados en un temporizador.

4.3. Toma de muestras

Se procedió a detener el sistema de recirculación a las 8:30 a.m. A esa hora se tomó la primera muestra, directamente del estanque en un recipiente de 500 ml, la cual se utilizó como muestra testigo, posteriormente se seleccionaron 5 tubos del sistema NFT y se tomaron 100 ml de cada uno. Se extrajeron las muestras a los 30, 60 y 90 minutos después de detenido el sistema de recirculación. Las muestras fueron guardadas en un termo con hielo y se trasladaron al laboratorio de fisiología animal para determinar las concentraciones en mg/l del amonio, nitrato y fosfato

4.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos durante la realización del experimento se muestran como la media $\pm$ E.E.M de cada grupo y las diferencias entre ellos se evaluaron mediante un ANOVA de una vía. Tras los análisis de varianza se realizó el test de comparaciones múltiples de Student Newman Keuls. En todos los casos el nivel de significación se estableció con un valor de $P < 0.05$. Previo a estas pruebas estadísticas, se analizaron los datos mediante una prueba de normalidad (Shapiro -Wilks) y de homogeneidad de varianzas (prueba C de Cochran). Para determinar la relación de las fluctuaciones de los niveles Amonio, nitrato y fosfato se utilizó el análisis estadístico de correlación de Pearson.

V. RESULTADOS.

5.1 Amonio

La figura 1 muestra, de manera general, que a los 30 minutos del tratamiento hay un decrecimiento significativo del nivel de amonio que se mantiene hasta los 90 minutos que finaliza el experimento

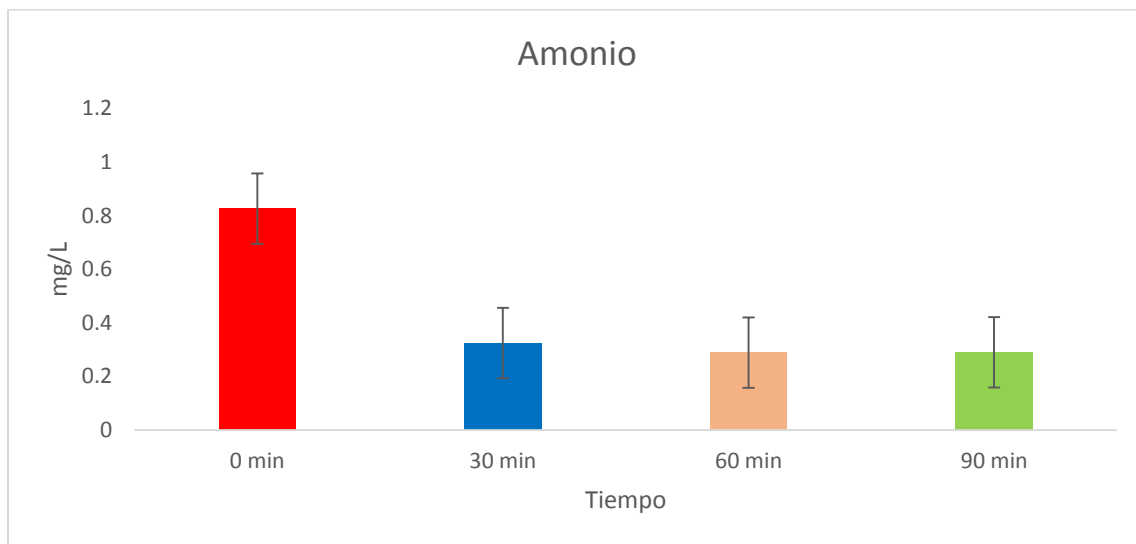


Figura 3. Fluctuación del nivel de amonio en el sistema acuapónico en tiempos de 30, 60 y 90 minutos. Cada valor se corresponde a la media $\pm$ EEM, N=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre grupos.

5.2 Nitrato

La concentración de nitrato presenta decrecimiento significativo a los 30 minutos de iniciado el experimento, manteniendo el nivel hasta los 90 minutos. Similar a lo observado en el comportamiento de los niveles de amonio.

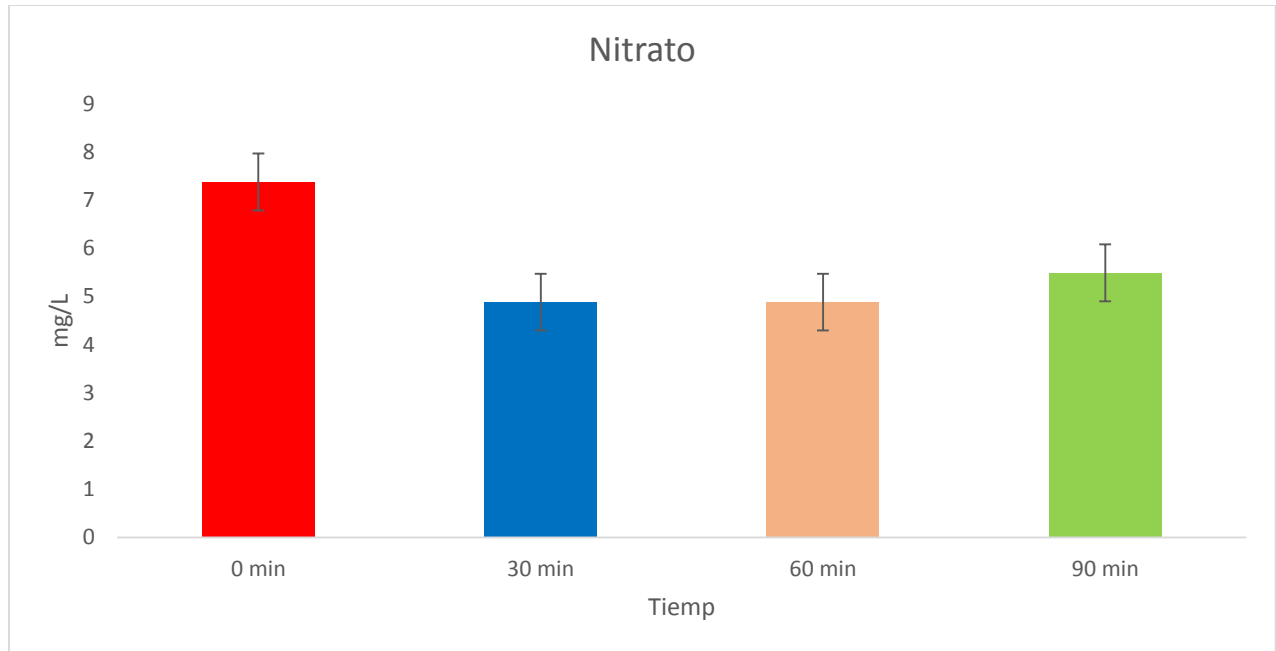


Figura 4. Fluctuación del nivel de nitrato en el sistema acuapónico en tiempos de 30, 60 y 90 minutos. Cada valor se corresponde a la media $\pm$ EEM, N=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre grupos.

5.3 Fosfato

De manera similar, a lo observado con el comportamiento de los niveles de amonio y nitrato, al analizar el parámetro fosfato se observa decrecimiento significativo a los 30 minutos, que continúa decreciendo hasta los 60 minutos y experimenta un ligero incremento a los 90 minutos de iniciado el experimento (ver figura 3).

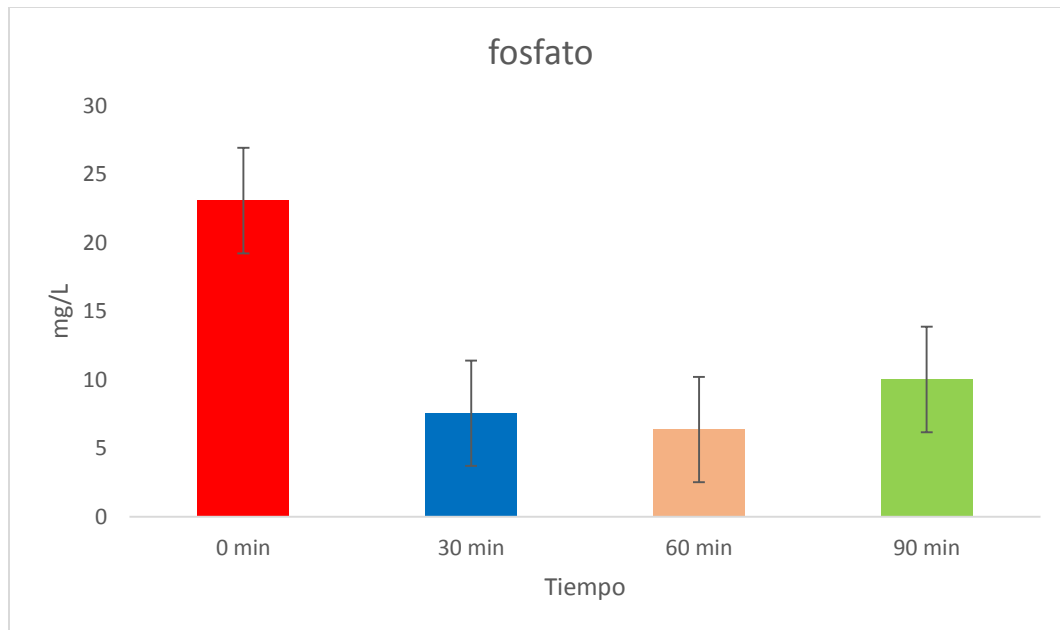


Figura 5 Fluctuación del nivel de fosfato en el sistema acuapónico en tiempos de 30, 60, y 90 minutos. Cada valor se corresponde a la media $\pm$ EEM, N=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre grupos.

5.4 Ritmo de decrecimiento de nutrientes en el agua

En la tabla 2 se observan los diferentes valores de pendiente que reflejan la velocidad de decrecimiento de los nutrientes con respecto al tiempo, en diferentes rangos. Se observa que el tiempo de máximo decrecimiento es de 0 a 30 minutos y que el metabolito que disminuye más rápido es el fosfato, seguido de nitrato y amonio.

Tabla 2

Valores de pendiente del comportamiento de los niveles de Amonio, Nitrato y Fosfato en los diferentes intervalos de tiempo diseñados en el experimento.

Tiempos de permanencia de Lechuga en el agua.						
Tiempos	0-30	0-60	0-90	30-60	30-90	60-90
Amonio	- 0.500	- 0.268	- 0.164	- 0.035	- 0.017	0.0003
Nitrato	- 2.49	-1.246	- 0.564	0.001	0.305	0.609
Fosfato	- 15.518	- 8.354	- 4.035	- 1.191	1.232	3.655

Datos obtenidos de la ecuación de línea de tendencia en Excel (Elaboración propia)

5.6 Relación entre la fluctuación de los niveles de amonio, nitrato y fosfato.

La tabla 3 muestra el comportamiento de la concentración de amonio, nitrato y fosfato en un periodo de 90 minutos, usando lechuga (*Lactuca sativa L*) como organismo receptor de los nutrientes y probióticos para disminuir el nivel de amonio. Existe correlación significativa ($P < 0.05$) entre la velocidad de decrecimiento de los niveles de amonio, nitrato, fosfato.

Tabla 3.
correlación de los parámetros amonio, nitrato y fosfato.

Correlación de los parámetros		
	Amonio	Fosfato
Nitrato	R=0.960	R=0.996
	P=0.0399	P=0.00367
	N=4	N=4
Amonio		R=0.976
		P=0.0242
		N=4

5.7 Discusión

El propósito del presente trabajo consistió en evaluar la capacidad de lechuga (*lactuca sativa L*) de disminuir los niveles de amonio, nitrato y fosfato en un sistema de recirculación de agua de cultivo de tilapias, en periodos de tiempo de 30, 60 y 90 minutos. Se sabe, que parte del alimento suministrado a los peces es aprovechado para formarse como tejido muscular, gasto energético, reproducción entre otros, y el resto es excretado como heces y orina que contienen niveles elevados de Amonio y Fósforo (Ovando, 2017). que al llegar al cuerpo de agua se diluyen e inician un proceso de transformación por vía aeróbica producido por diversos grupos de bacterias que transforman el amonio en nitrato y la materia fosfatada en fosfato (Candarle, 2006). Por tanto, los residuos orgánicos que liberan los peces son transformados por estos microorganismos en nutrientes que son aprovechados por las plantas para su crecimiento. Por consiguiente,

este sistema propicia un ambiente donde plantas y peces pueden vivir y prosperar en una simbiosis de crecimiento saludable (Ovando, 2017).

5.7.1 Fluctuación de los niveles de Amonio

Nuestros resultados muestran que antes de iniciar el tratamiento con lechuga el nivel de amonio presentó una concentración de 0.8 mg/l, aproximadamente, y que a los 30 minutos el nivel de amonio disminuye significativamente. Por tanto, este comportamiento muestra la capacidad metabólica de las bacterias nitrificantes, en el medio acuático, y sugieren una probable simbiosis entre la actividad bacteriana y la capacidad de absorción de la lechuga (Rodríguez, Rubio, García , Montoya, y Magallón, 2015). Por lo tanto, nuestros resultados permiten sugerir que en sistemas de cultivo con 16 tilapias por m² es recomendable usar sistemas de tratamiento con 189 plantas de lechuga por 729 cm³ volumen de agua, para disminuir el nivel de amonio en 30 minutos. Es más, lo interesante no solo es observar la reducción del amonio a los 30 minutos, sino que los niveles del mismo permanecen bajos hasta la finalización del experimento, lo cual sugiere que el número de plantas y la concentración bacteriana usadas en este experimento son las recomendables para mantener un ambiente controlado de los niveles de amonio, similar a lo reportado por otros investigadores en estudios donde evalúan la simbiosis entre plantas y peces (Millares, Pérez, Ceballos, Flores , y Isla, 2017).

5.7.2 Fluctuación de los niveles de nitrato

De manera similar a lo observado en el comportamiento del amonio, la concentración de nitrato presenta decrecimiento significativo a los 30 minutos de iniciado el

experimento, manteniendo el nivel hasta los 90 minutos. Por lo tanto, estos resultados muestran una perfecta relación del trabajo conjunto de las bacterias que siguen la ruta metabólica amonio-nitrito, nitrato (Sánchez y Sanabria, 2009) y la capacidad de fijación del nitrato por lechuga (Ramírez, et al. 2008)., debido a que el nitrato como producto final del metabolismo del amonio, (en condiciones aeróbicas) se mantiene en equilibrio, en consecuencia, podemos deducir que los moles de nitrato producidos por las bacterias en un periodo de tiempo son consumidos en la misma proporción por la cantidad de plantas presentes en ese volumen de agua. Situación que valida lo mencionado en el análisis realizado en el caso de las fluctuaciones de amonio, donde hipotetizamos que bajo esas condiciones el sistema acuático tiene muy buena capacidad de carga, similar a lo reportado por otros autores (Moreno y Zafra, 2014).

5.7.3 Fluctuación de los niveles de fosfato

Se sabe que el fósforo es absorbido por las plantas en forma de ortofosfato y que este se encuentra en mayor proporción en pH cercano a 7 (Restrepo, et al. 2015). Por consiguiente, teniendo en cuenta que el agua de cultivo presentaba un valor de pH de 7.3 y que las plantas absorben el fósforo en forma de ortofosfato, resulta razonable pensar que este pequeño ecosistema presenta las condiciones idóneas para mantener la capacidad de carga en rangos óptimos para mantener el equilibrio de las fluctuaciones de este metabolito, de mucha importancia para el desarrollo de las plantas (Restrepo, et al. 2015)

5.7.4 Correlación de los parámetros amonio-nitrato-fosfato

Al analizar el comportamiento de las fluctuaciones de los parámetros testados en el presente experimento, nuestros resultados muestran una alta correlación positiva del comportamiento fluctuante entre el amonio, nitrato y fosfato ($P \leq 0.05$). Situación que permite sugerir, que las bacterias inoculadas en el agua de cultivo tienen la capacidad de transformar los metabolitos tóxicos en nutrientes asimilables para las plantas (Sánchez y Sanabria, 2009). en un periodo de 30 minutos y que el cóctel bacteriano contiene las especies de bacterias suficiente para mantener en bajo nivel al amonio no ionizado y el fosforo toxico en niveles razonables para el bienestar de los peces en cultivo. Por otro lado, al evaluar el comportamiento de las pendientes de crecimiento entre cada uno de los tiempos testados, nuestros resultados muestran que el periodo entre 0-30 minutos es cuando se observa la mayor velocidad de transformación de los metabolitos de interés para el desarrollo de las plantas.

En resumen, nuestros resultados concuerdan con lo observado por otros autores donde reportan que el uso de probióticos en estanques de cultivo propicia un ambiente acuático que satisface con condiciones para el bienestar animal, siempre y cuando exista presencia de organismos vegetales capaces de absorber los metabolitos nutricionales derivados del nitrógeno y fósforo (Moreno y Zafra, 2014).

VI. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos tras nuestro ensayo experimental permiten sugerir lo siguiente:

Los niveles de amonio bajan significativamente de 0.8 a 0.3 mg/l a los 30 minutos de iniciado el experimento y mantiene el mismo comportamiento hasta los 90 minutos de finalización del experimento.

Los niveles de nitrato bajan significativamente de 7.3 a 4.8 mg/l a los 30 minutos de iniciado el experimento y mantiene el mismo comportamiento hasta los 90 minutos de finalización del experimento.

Los niveles de fosfato bajan significativamente de 23 a 7.5 mg/l a los 30 minutos de iniciado el experimento y mantiene el mismo comportamiento hasta los 90 minutos de finalización del experimento

Existe una alta correlación positiva del comportamiento fluctuante entre el amonio nitrato y fosfato con una $P \leq 0.05$.

El comportamiento de las pendientes de crecimiento entre cada uno de los tiempos testados, muestran que el periodo entre 0-30 minutos es de mayor velocidad de disminución de amonio nitrato y fosfato.

VII. RECOMENDACIONES.

En base de los resultados obtenidos en la investigación y el análisis de los mismos hacemos las siguientes recomendaciones:

- El filtro sedimentador que se adquiriera o se elabore debe de ser de limpieza fácil para que no retrase el proceso de recirculación.
- Tiempos de 30 minutos son más que suficientes para garantizar una absorción significativa, por ende, recomendamos que se continúe esta investigación evaluando las fluctuaciones de las concentraciones de amonio, nitrato y fosfatos en tiempos de 10, 20 y 30.
- El estanque debe estar en una zona donde no entre la luz del sol directa al cuerpo de agua, o que se cree un tipo de estructura que impida la entra de luz, al estanque para evitar la proliferación de micro algas que puedan obstruir el sistema NFT.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Aguilera, M., Hernandez, F., Mendieta, E., y Herrera, C. (septiembre-diciembre de 2012).

Produccion integral sustentable de alimentos. *RA Ximhai*, 8(3), 71-74.

Recuperado el 17 de julio de 2019, de [http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25aarticulosPDF/7.-](http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25aarticulosPDF/7.-%20Produccion%20integral%20sustentable%20de%20alimentos_Martha%20Ele)

[na.pdf](http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25aarticulosPDF/7.-%20Produccion%20integral%20sustentable%20de%20alimentos_Martha%20Ele)

Ascencio, S., Del Valle, G., y Velasquez, G. (Enero de 2019). *Repositorio intitucional de la univercidad del salvador*. Recuperado el 26 de Mayo de 2019, de <http://ri.ues.edu.sv/19029/>

Bautista, J., y Ruiz , J. M. (Septiembre de 2011). *Repositorio Institucional Aramara*. Recuperado el 08 de Septiembre de 2019, de <http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/568/1/Calidad%20de%20agua%20para%20el%20cultivo%20de%20Tilapia.pdf>

Betanco, C., y Zúniga, C. (19 de abril de 2016). cambio climatico y sus consecuencias en nicaragua. *revista Iberoamericana de bioeconomia y cambio climatico*, 2(1), 180-192. Recuperado el 14 de julio de 2019, de file:///D:/Downloads/Cambio_Climatico_y_sus_consecuencias_en_Nicaragua.pdf

Camargo, J., y Alonso, A. (2017). contaminacion por nitrogeno inorganico en los ecosistemas acuaticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e inplicaciones del cambio climatico. *Revista cientifica y tecnica de ecologia y medioambiente*, 16(2), 98-110. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de

<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/457/4>

38

Candarle., P. (2006). Recuperado el 01 de mayo de 2019, de https://agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf

CASTAÑEDA , D. (2019). *Repositorio Institucional - UNTELS*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2019, de http://repositorio.untels.edu.pe/bitstream/UNTELS/367/1/Casta%c3%b1eda_Diana_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf

Garcia, M., León, C., Hernández, F., y Chavéz, R. (enero-abril de 2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponia avances en la investigacion agropecuaria. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 9(1), 1-5. Recuperado el 08 de Agosto de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/837/83709105.pdf>

Gatesoupe, F. J. (1998). Uso de probioticos en acuacultura. En R. Civera Cerecedo, C. J. Pérez Estrada, D. Ricque Marie, y L. E. Cruz Suárez (Ed.), *Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del Cuarto Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, (págs. 463-472). La paz. Recuperado el 24 de Septiembre de 2019, de https://www.uanl.mx/utillerias/nutricion_acuicola/IV/archivos/27gates.pdf

Hernández , C., y Hernández , J. (2005). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la tecnica de pelicula de nutriente (NFT). *Naturaleza y Desarrollo*, 3(1), 11-16. Recuperado el 27 de Septiembre de 2019, de

<https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol3num1/lechuga.pdf>

Hurtado, n. (2005). *revista aquatic*. Recuperado el 19 de mayo de 2019, de http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_tilapia3milenio.pdf

Ingle, G., Villareal , E., Arredondo , J., Ponce, J., y Barriga, I. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la. *Hidrobiológica*, 13(4), 247-253. Recuperado el 08 de Agosto de 2019, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v13n4/v13n4a1.pdf>

Luna, M., y Mesa, J. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Resvista científica agroecosistemas*, 31-40. Recuperado el 13 de septiembre de 2019, de <file:///C:/Users/Juan%20Manuel/Downloads/84-Texto%20del%20art%C3%ADculo-181-1-10-20170222.pdf>

Martínez, R. (2013). La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿ una posiilidad para tener en casa? *REDICINAYSA*, 2(5), 16-23. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019

Martínez, V., y Mendoza, W. (junio de 2015). *UNAN-León*. Recuperado el 19 de mayo de 2019, de repositorio institucional: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/4307>

Martinez, Z. (Enero de 2008). *Universidad javierana*. Recuperado el 02 de Junio de 2019, de https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis110.pdf?fbclid=IwAR2f0v99Hv-tb1SLfZ9w3juZAdzj_j6E4c9qr00IBVL5RFlwHoO1chp5KRE

- Mengel, K., y Kirkby, E. (2000). *principios de nutricion vegetal*. Basilea, Suiza: Instituto internacional de la potasa. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/59092073/276824282-Mengel-Principios-de-Nutricion-Vegetal20190430-127999-xfcpa.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DMengel_Principios_de_Nutricion_Vegetal.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SH
- Meyer, D. (2004). *Introduccion a la acuicultura*. Tegusigalpa , Honduras: Zamorano: escuela agricola panamericana, 2014. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019
- Meza, M. (2018). *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019, de Repositorio Institucional - UNSAAC: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/3765?show=full>
- Millares, N., Pèrez, L., Ceballos, B., Flores , G., y Isla, M. (2017). Un metodo alternativo para incrementar la productividad en el cultivo acuicola-agricola en proyectos comunitarios con enfoques de genero. *Revista cuana de investigaciopnes pesqueras*, 34(2), 84-89. Recuperado el 23 de febrero de 2020, de <https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/12604/84-89%20%20Noris%201.pdf?sequence=1>
- Moreno, E., y Zafra, A. (2014). Sistema acuaponico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *REBIOL*, 34(2), 60-72. Recuperado el 23 de Febrero de 2020, de <http://www.revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/article/viewFile/770/694>

- Muños, M. E. (Diciembre de 2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador tecnico*, 76, 123-129. Recuperado el 16 de Agosto de 2019, de file:///C:/Users/juan%20olivares/Downloads/Dialnet-SistemasDeRecirculacionAcuaponicos-4364577.pdf
- Ovando, M. (nobiembre de 2017). *UNICACH*. Recuperado el 02 de junio de 2019, de <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/1311/1/ICA%20631.585%20O92%202017.pdf>
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., y Hurtado, H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Facultad de Ciencias basicas*, 4(1), 32-51. Recuperado el 02 de junio de 2019, de file:///D:/Downloads/2230-Texto%20del%20art%C3%ADculo-8130-1-10-20160907.pdf
- Ramírez, L., Maria, P., Jiménez, P., Hurtado, H., y Gómez, E. (2011). EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SISTEMAS ACUAPÓNICOS E HIDROPÓNICOS EN CAMA FLOTANTE PARA EL CULTIVO DE ORÉGANO (*Origanum vulgare*: LAMIACEAE). *Revista Facultad de ciencias basicas*, 7(2), 242-259. Recuperado el 29 de Septiembre de 2019
- Restrepo, G., Moreno, S., Perez, Y., Diaz, A., Baldani, V., y Hernandez, A. (2015). Bacterias solubizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promocion del crecimiento de cultivos de importancia econòmica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 46(1), 63-76. Recuperado el 23 de Febrero de 2020, de file:///C:/Users/lenova/Downloads/95-Texto%20del%20art%C3%ADculo-236-1-10-20180424.pdf

- Rodríguez, H., Rubio, S., García, M., Montoya, M., y Magallón, F. (2015). Analisis tecnico de la produccion de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponia. *Agroproductividad*, 8(3), 15-19. Recuperado el 23 de Febrero de 2020, de https://www.researchgate.net/profile/Esteban_Mancilla/publication/319205327_Produccion_de_huachinango_Luthanus_peru_en_jaulas_flotantes/links/599aef4daca272dff128d369/Produccion-de-huachinango-Luthanus-peru-en-jaulas-flotantes.pdf#page=17
- Sánchez, J., y Sanabria, J. (2009). Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de Nitrógeno, una. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(1), 114-124. Recuperado el 08 de Agosto de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/776/77612900012.pdf>
- Savedra, M. A. (31-4 de Julio-agosto de 2006). *core*. Recuperado el 27 de septiembre de 2019
- Valbuena, R., y Cruz, P. (2006). Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis SP*). *Revista ORINOQUIA*, 10(1), 57-63. Recuperado el 27 de Septiembre de 2019
- Zornoza, A., Avendaño, L., Alonso, J., Serrano, S., amorós, I., Bernácer, I., y Martínez, J. (2011). *researchgate.net*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2019, de https://www.researchgate.net/profile/Andres_Zornoza/publication/234154579_Analisis_de_las_correlaciones_entre_diversos_parametros_operacionales_y_fisico-quimicos_relacionados_con_el_proceso_biologico_de_nitrificacion_en_fangos_activos/links/02bfe50f989e70.

IX. ANEXOS.

9.1 Glosario

Acuaponía: Es un sistema de producción cerrado que integra la técnica de la acuicultura con la hidroponía, es decir, es una combinación de la producción de peces y la producción de hortalizas sin suelo por el medio común “agua”

Amonio: Radical univalente formado por hidrógeno y nitrógeno, NH_4 , cuyos compuestos se parecen a los de los metales alcalinos.

Anaerobia: Que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.

Anélidos: Los anélidos son un gran filo de animales invertebrados de aspecto vermiforme y por lo general con el cuerpo segmentado en anillos.

Anfípodos: Los anfípodos pelágicos son comidos por aves marinas, peces, y mamíferos marinos.

Anoxia: Falta o disminución de oxígeno en las células, los órganos o la sangre.

Biofiltración: También denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluido (aire o agua) mediante un proceso biológico.

Bicúspides: Que tiene dos cúspides

Bilis: Líquido producido por el hígado que es de color amarillo verdoso y de sabor amargo.

Cañerías: Conducto formado por caños o tubos por donde se distribuye el agua o el gas.

Ctenoide: Es un tipo de superficie que se obtiene por rotación de una catenaria alrededor de un eje coplanario, perpendicular al eje de simetría y que no la corte. Es una superficie mínima, lo que significa que ocupa el área mínima cuando está delimitada por un espacio cerrado.

Espectrofotometría: Es un método científico utilizado para medir cuánta luz absorbe una sustancia química, midiendo la intensidad de la luz cuando un haz luminoso pasa a través de la solución muestra, basándose en la Ley de Beer-Lambert

Fotosíntesis: Proceso químico que tiene lugar en las plantas con clorofila y que permite, gracias a la energía de la luz, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía.

Fosfato: Sal formada por combinación del ácido fosfórico con una base; se encuentra en estado natural y se utiliza como abono o en la obtención del ácido fosfórico y de los superfosfatos.

Heterotróficas o Heterotrófica: Que es incapaz de elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas y se nutre de sustancias elaboradas por otros seres vivos.

Hidroponía: Método de cultivo industrial de plantas que en lugar de tierra utiliza únicamente soluciones acuosas con nutrientes químicos disueltos, o con sustratos estériles (arena, grava, vidrio molido...) como soporte de la raíz de las plantas.

Mineralización: Acción de mineralizar o mineralizarse.

Morfología: Parte de la lingüística que estudia las reglas que rigen la flexión, la composición y la derivación de las palabras.

Nitrato: Sal formada por combinación del ácido nítrico y una base; se emplea como oxidante, como abono por su riqueza en nitrógeno y en la fabricación de explosivos

Nitrosomonas: Es un género de bacterias elipsoidales del suelo. Son importantes en el ciclo del nitrógeno por transformar amonio (NH_4) a nitrito (NO_2^-) y así obtienen su energía de la quimio síntesis.

Nitrobacter: Microorganismo aeróbico que convierte los nitritos en nitratos. Son bacterias benéficas en los acuarios.

Quimiolitoautótrofas: Son microorganismos que obtienen energía de la oxidación de compuestos inorgánicos y el carbono de la fijación del dióxido de carbono. Ejemplos: bacterias nitrificantes, oxidante del azufre, bacterias oxidantes del hierro, bacterias oxidantes del hidrogeno.

Simbiosis: Asociación íntima de organismos de especies diferentes para beneficiarse mutuamente en su desarrollo vital.

Sulfhídrico: Que está compuesto por azufre e hidrógeno, es gaseoso, incoloro, inflamable y tóxico.

Taxonomía: Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica; se aplica, en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada y sistemática de los grupos de animales y de vegetales.

Tilapia: Pez de agua dulce, de 10 a 30 cm de longitud, de coloración distinta según las especies; vive en clima tropical, pero está muy extendido como pez de acuario y para el consumo humano.

Tricúspides: Que separa la aurícula y el ventrículo derechos

Vilano: Corona de pelusa y filamentos, largos y finos, que rodea las semillas de muchas plantas compuestas y les sirve para ser transportadas por el aire.

9.2 Abreviaturas

ANOVA: Análisis de varianza en un factor.

Ca²⁺: Calcio.

CO₂: Dióxido de carbono.

EEM: Error estándar de la media.

EM: Microorganismos eficientes.

Na: Sodio.

NFT: Sistema de recirculación de la película de nutrientes.

NH₃: Amonio.

NH₄: Amonio ionizado.

NO₂: Nitrito.

NO₃: Nitrato.

OD: Oxígeno disuelto.

pH: Logaritmo negativo de la base 10 de la actividad de iones de hidrogeno.

SRA: Sistema de recirculación acuícola.

9.3 Descripción visual del diseño metodológico

	
Elaboración de estanque y forrado de plástico	Colocación de arcos, tubos PVC, para colocar la malla y crear el invernadero
	
Elaboración de cama, de los tubos PVC del sistema NFT	Tubos PVC del sistema NFT



Instalación total del sistema NFT



Siembra de lechuga con esponja en el sistema NFT



Toma de muestras de aguas, para el análisis de espectrofotometría.