

1. Un Biosistema Integrado: Acuaponía

2. Resumen

En un biosistema integrado de cultivo de peces y lechugas, los desechos metabólicos nitrogenados de los peces y los restos orgánicos, serán oxidados en el biofiltro, lo que favorecerá el cultivo de hortalizas, que a su vez aportarán a la salud del sistema de cultivo de peces, contribuyendo a disminuir la necesidad de recambio de agua.

3. Establecimiento educacional

- Nombre: Colegio Santa Teresa De Los Andes
- Comuna: Aysén
- Región: XI región de Aysén del General Carlos Ibáñez Del Campo
- Dirección: Km. 2 camino Aysén-Coyhaique
- Teléfono: 067-333083
- Web: www.colegiosta.cl

4. Participante 1

- Nombre: Nicolás Ignacio Aedo Gallegos
- Rut: 18.875.761-8
- Fecha de nacimiento: 26 de octubre de 1994
- Establecimiento educacional: Colegio Santa Teresa De Los Andes, Km. 2 camino Aysén Coyhaique, 067-333083
- Curso: Segundo medio
- Dirección: Km. 4 camino Aysén-Chacabuco, Aysén, XI región
- Teléfono celular: 84493772
- E-mail: nicochue@hotmail.com

Participante 2

- Nombre: Víctor Morán Ojeda
- Rut: 18.024.496-4
- Fecha de nacimiento: 20 de agosto de 1992
- Establecimiento educacional: Colegio Santa Teresa De Los Andes, Km. 2 camino Aysén- Coyhaique, 067-333083
- Curso: Cuarto medio
- Dirección: Sargento Aldea 502, Aysén, XI región
- Teléfono celular: 91958688
- E-mail: moran.victor@gmail.com

5. Profesor guía

- Nombre: Damián Ruz López
- Rut: 16.423.237-4
- Especialidad: Química y Biología
- Establecimiento educacional: Colegio Santa Teresa de los Andes
- Dirección establecimiento educacional: Km 2 Camino Aysén Coihaique
- Dirección particular: Lago Rosselot 05
- Comuna y región: Aysén, Región de Aysén
- Teléfono particular: --
- Teléfono celular: 99130917
- E-mail: drl16423@gmail.com

6. Asesor científico externo

- Nombre: Hernán Joost Wolf
- Rut: 12.540.865-6
- Especialidad: Biólogo Marino
- Institución: Gobernación Marítima de Aysén
- Cargo o curso:
- Dirección institución: Francisco Mozo 450
- Dirección particular: Teniente Merino 340 casa D
- Comuna y región: Aysén, Región de Aysén
- Teléfono particular:
- Teléfono celular:
- E-mail: puertochile@yahoo.com
- Declaración de asesoría otorgada:

7. Introducción

Siempre ha sido de interés del colegio y sus alumnos el uso eficiente de la energía en especial del recurso hídrico. Esto partió con la idea en mente de un invernadero para el grupo “forjadores ambientales” de nuestro colegio, pero, ¿Cómo hacer esto gastando la menor cantidad de agua posible?

Primero se pensó en crear un sistema de hidroponía, pero, recurriendo a la bibliografía y consultando con expertos llegamos a los sistemas de Acuaponía, sistema muy utilizado en países donde es escaso el recurso hídrico, tema que nos pareció interesante y desafiante a la vez, además de las múltiples aplicaciones que tiene este sistema a los distintos niveles de educación.

En el sur de Chile, el enorme crecimiento de la industria acuícola, que representa el 4,3% de la exportación de nuestro país y el 56% de las exportaciones pesqueras, Además involucra directamente 30 empresas en cultivo de peces a nivel nacional y 500 empresas más de manera indirecta, las cuales prestan servicios a las anteriores, y que también da empleo a 53000 personas aproximadamente, ha llevado a muchas empresas

a buscar sistemas más eficientes en el uso de agua y la emisión de desechos. Nosotros pensamos que este sistema puede además incorporar una aplicación productiva, siendo parte de un poli cultivo de hortalizas que pretendemos implementar a mayor escala algún día.

Los sistemas acuipónicos son sistemas de recirculación para la acuicultura, que producen peces y plantas a la vez. La producción simultánea de peces y plantas a la vez es posible dado que los requisitos del sistema para el crecimiento de peces son muy similares a los requisitos necesarios para el cultivo de plantas. Los sistemas acuipónicos están diseñados para cultivar grandes cantidades de peces en volúmenes relativamente pequeños de agua debido a su capacidad de tratar el agua para remover los productos tóxicos y luego reutilizar el agua. Durante el proceso continuo de tratamiento y reutilización, los nutrientes no-tóxicos y la materia orgánica se acumulan en el agua. Estos subproductos metabólicos pueden ser de gran valor al ser utilizados en el cultivo de plantas.

Las plantas crecen rápidamente en respuesta a los altos niveles de nutrientes disueltos que son excretados directamente por los peces o generados por la descomposición bacteriana de los excrementos. En los sistemas acuipónicos que operan con un recambio diario de “agua fresca” menor al 5%, la acumulación de nutrientes disueltos se aproxima a las concentraciones encontradas en soluciones de nutrientes hidropónicas. El nitrógeno, en particular, puede encontrarse a concentraciones muy altas en los sistemas de recirculación. Los peces excretan nitrógeno a través de sus branquias en forma de amoníaco. Las bacterias convierten el amoníaco a nitrito y luego a nitrato. El amoníaco y el nitrito son tóxicos para los peces pero el nitrato es relativamente inofensivo y es la forma de nitrógeno preferida por las plantas. Es la relación simbiótica entre peces y plantas la que permite que los sistemas acuipónicos sean una alternativa razonable a la hora de diseñar un sistema para cuidar nuestro vital sistema hídrico.

8. Antecedentes bibliográficos o investigaciones previas

Bibliografía se detalla al final.

No existen investigaciones previas, esta es la primera aproximación al tema en Chile.

9. Hipótesis y objetivos

Nuestra hipótesis implica que la planta piloto será un biosistema viable, por la circulación de nutrientes y la purificación del agua. Los desechos metabólicos nitrogenados de los peces y los restos orgánicos, serán oxidados en el biofiltro, porque en este existirán microorganismos especializados para este proceso.

Se favorecerá el cultivo de hortalizas, por la disponibilidad de nutrientes nitrogenados y fosforados del ambiente.

Será posible disminuir la necesidad de recambio de agua, porque los vegetales serán capaces de limpiarla al absorber los nutrientes formados en el biofiltro.

10. Plan de trabajo: metodología e investigación

El diseño de los sistemas acuipónicos es basado generalmente en el diseño de un sistema de recirculación, con la adición del componente hidropónico y la posible eliminación del biofiltro adjunto y como también del equipo utilizado para eliminar sólidos disueltos y finos tal como los fraccionadores de de espuma. Sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta generalmente no llegan a niveles donde se hace necesaria la utilización de fraccionadores de espuma en un sistema acuipónico bien diseñado con la proporción correcta entre el área de plantas y peces. Los elementos esenciales de un sistema acuipónico son un estanque para el cultivo de peces, un componente para eliminar sólidos suspendidos, un biofiltro, un componente hidropónico y un sumidero o sump. El efluente del estanque de cultivo de peces es tratado en primera instancia para reducir los sólidos suspendidos y la DBO. Luego, el efluente es tratado para oxidar el amoníaco y nitrito por medio de la nitrificación bacteriana de película fija. Después, el agua fluye a través de la unidad de producción vegetal, donde los procesos de las plantas recuperan los nutrientes disueltos. Finalmente el agua se recolecta en un reservorio de agua o sumidero, para ser devuelta al cultivo de peces. El sistema puede ser configurado para que una porción del flujo sea desviada a una unidad de tratamiento específica. Por ejemplo un flujo pequeño puede ir a un componente hidropónico después de la eliminación de sólidos, mientras que la mayor parte del agua pasa a través de un biofiltro y vuelve directamente a los estanques de cultivo de peces.

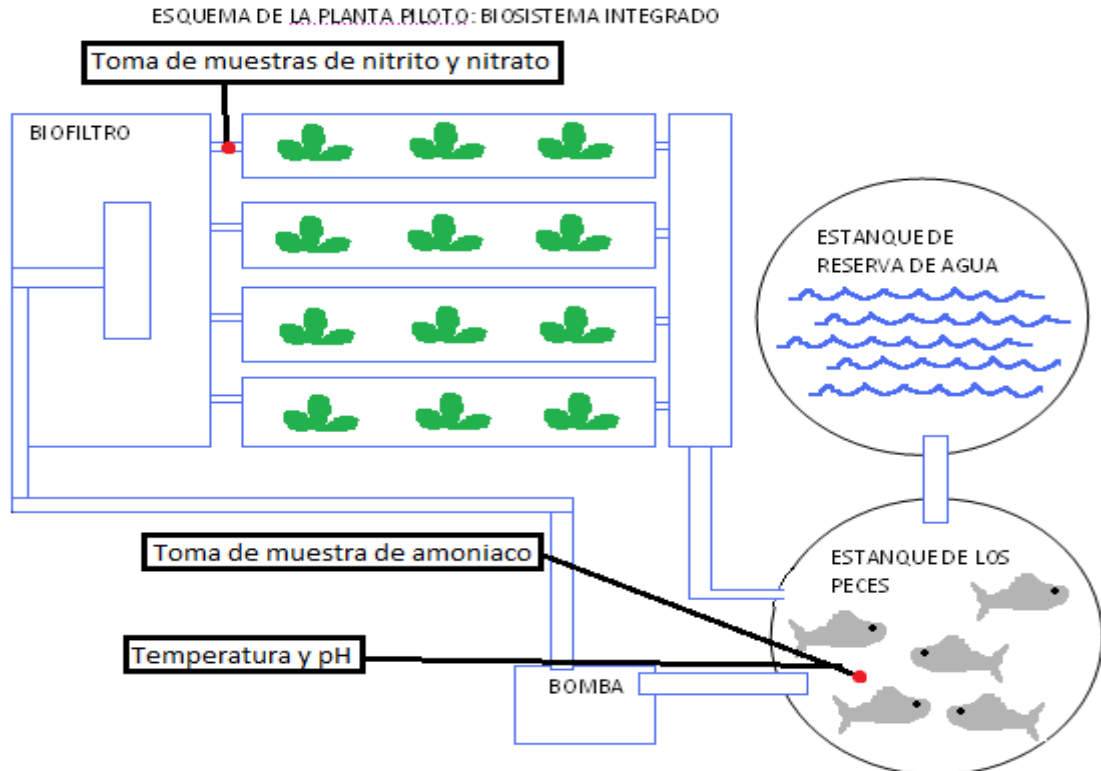


Figura 1: en el diagrama se encuentran los componentes de nuestro sistema acuípónico. El agua circula en sentido horario, tomando como punto de partida el estanque, sale de este, donde se encuentran nuestras truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) por una bomba de vacío, y se dirige al biofiltro, que oxida los desechos nitrogenados. Luego el agua se dirige al sistema hidropónico de lechugas (*lactuca sativa*), donde estas toman los nutrientes disponibles y purifican el agua. Finalmente el agua vuelve al estanque de las truchas no con un 100% de pureza pero lo suficiente para que las truchas puedan seguir viviendo.

Los componentes hidropónicos y de biofiltración pueden ser combinados usando un medio de soporte para la planta, tal como grava, o arena, que también funciona como un medio para biofiltración. Por otro lado, hidropónica balsa que consiste en planchas de poliestireno expandido flotantes para dar soporte a la planta, también puede proveer suficiente biofiltración si el área de producción de plantas tiene el tamaño adecuado. Combinar la biofiltración con la hidropónica es una meta muy deseable ya que eliminar el gasto del biofiltro es una de las ventajas más grandes de la Acuiponía. Un diseño alternativo combina la eliminación de sólidos, la biofiltración y el componente hidropónico en una sola unidad. El medio de soporte de la hidropónica (grava o arena gruesa) captura los sólidos y provee una superficie para la nitrificación de película fija, aunque con este diseño es importante no permitir que sea sobrecargada con sólidos suspendidos. Una sobrecarga de sólidos suspendidos siempre es una amenaza dada las variaciones en las actividades de alimentación de los peces y la eficiencia de eliminación de sólidos a través del respectivo componente.

Los materiales utilizados fueron dos estanques de 200 L c/u, uno para el cultivo de peces y otro para reserva de agua, cañerías, codos y distintas uniones de PVC que fueron utilizados como conductores de agua, una bomba de vacío para hacer circular el agua, el biofiltro, compuesto de de una fase de remoción de sólidos hecha de filtros de plumavit y otra de oxidación de nitrógeno compuesta por piedras de diversos tamaños ordenados según su tamaño en forma descendente, cañerías de mayor diámetro en donde se ubican las lechugas. Finalmente el agua circula a través de una cañería colectora, que desemboca en el estanque de los peces. Justo al sistema tenemos materiales de medición y ajustes de parámetros: pHmetro, termómetro, test amonio, test nitrito, test nitrato, mangueras de aireación para aumentar el oxígeno y bicarbonato de sodio que actúa como buffer para controlar el pH.

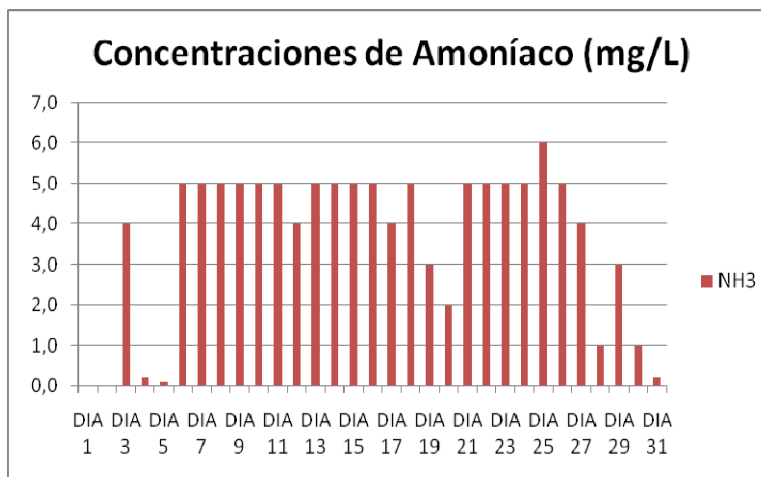
Figura 2: Planta piloto implementada en el laboratorio de nuestro colegio



11. Resultados

A continuación se presentan los resultados de los parámetros químicos y físicos medidos en el sistema:

Gráfico N°1:



Podemos observar en el gráfico N°1 de las variaciones de las concentraciones de amoníaco, que este se mantuvo casi siempre en niveles muy elevados cercanos a los 5,0mg/L, salvo al principio y final del proyecto, esto creemos que se puede deber a que nuestro test es sensible tanto a la presencia de amonio

como de amoníaco, el descenso en los últimos días corresponde a días en los que los peces no fueron alimentados, lo que demuestra que este compuesto deriva en gran parte del alimento y las fecas de los peces. Las grandes concentraciones de amoníaco fueron controladas con una mayor adición de agua al sistema.

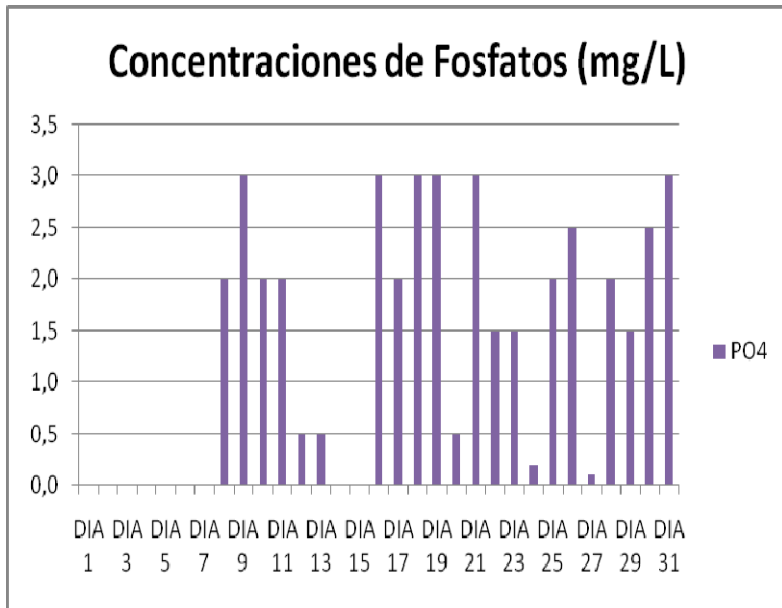


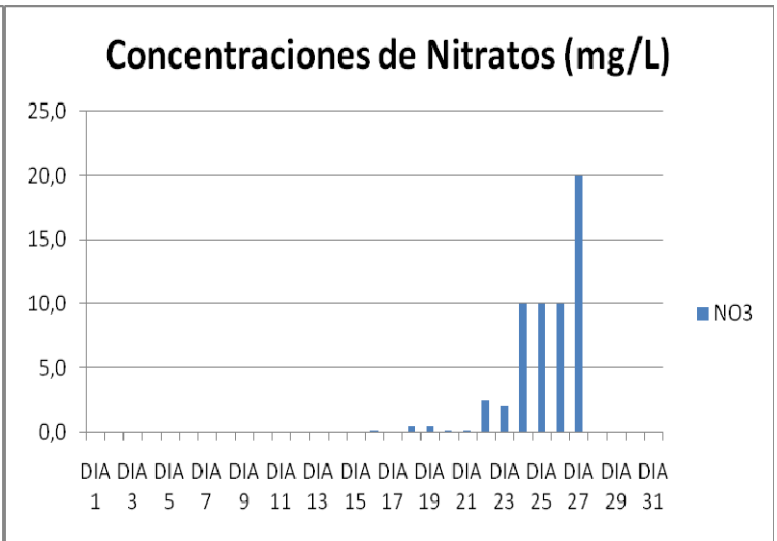
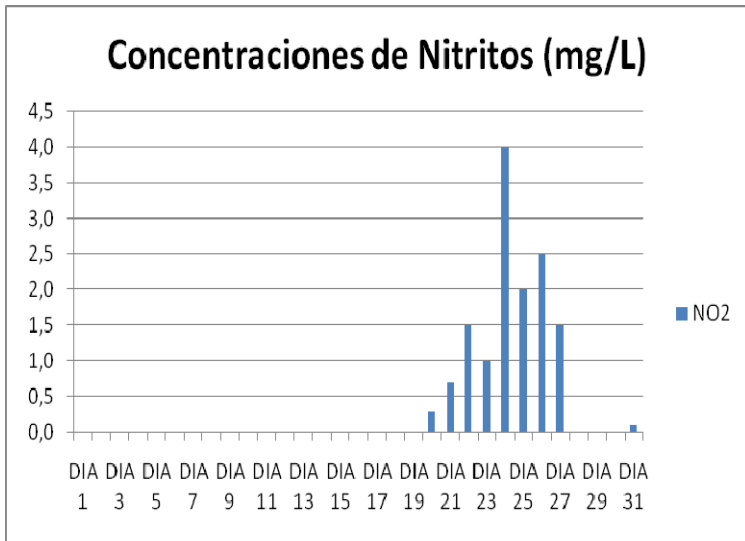
Gráfico N°2:

En el Gráfico N°2 de las variaciones en las concentraciones de fosfatos podemos observar que esta variante se mantuvo muy discontinua, ya que la principal fuente de fosfato en el sistema proviene del alimento de los peces, el cual no se encuentra en forma de fosfato inorgánico, sino mas bien en forma de fosfolípidos, por lo cual no es aprovechado por las plantas. Esto provoca que se

encuentre en niveles elevados a pesar de que los peces no siempre fueron alimentados.

Gráfico N°3:

Gráfico N°4:



En las concentraciones de nitritos y nitratos podemos observar que ambas variantes comenzaron a aparecer a partir de la tercera semana, esto debido a la demora en la proliferación de bacterias nitrosas y nítricas en el biofiltro. Se elevan luego rápidamente, para pasado el día 27 comenzar a disminuir hasta desaparecer tras la no alimentación de los peces en esos días.

Cabe señalar que algunas lechugas comenzaron a ponerse cloróticas, lo cual podría demostrar una baja absorción de nitrógeno desde el sistema.

Gráfico N°6:

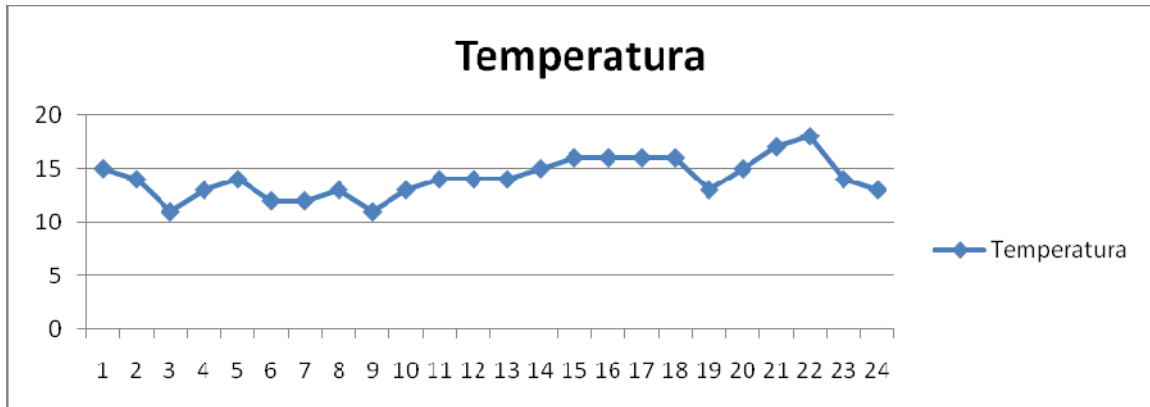
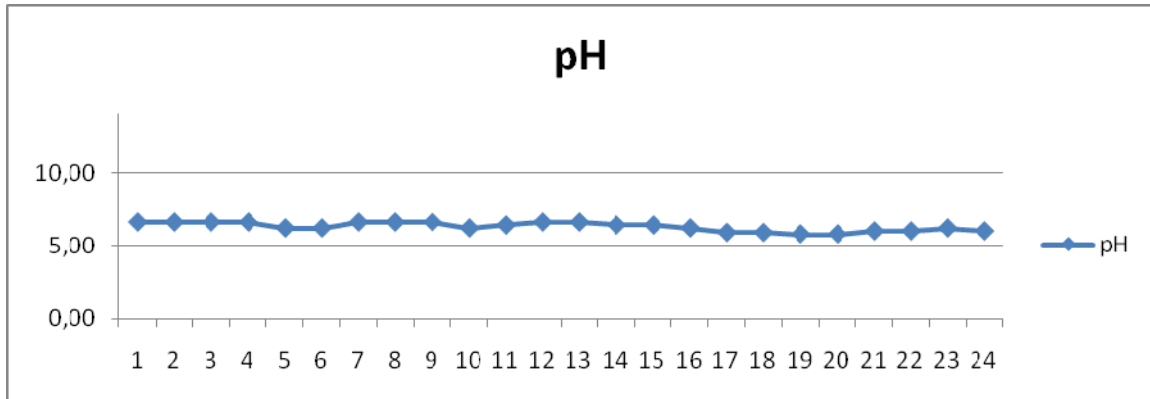


Gráfico N°7

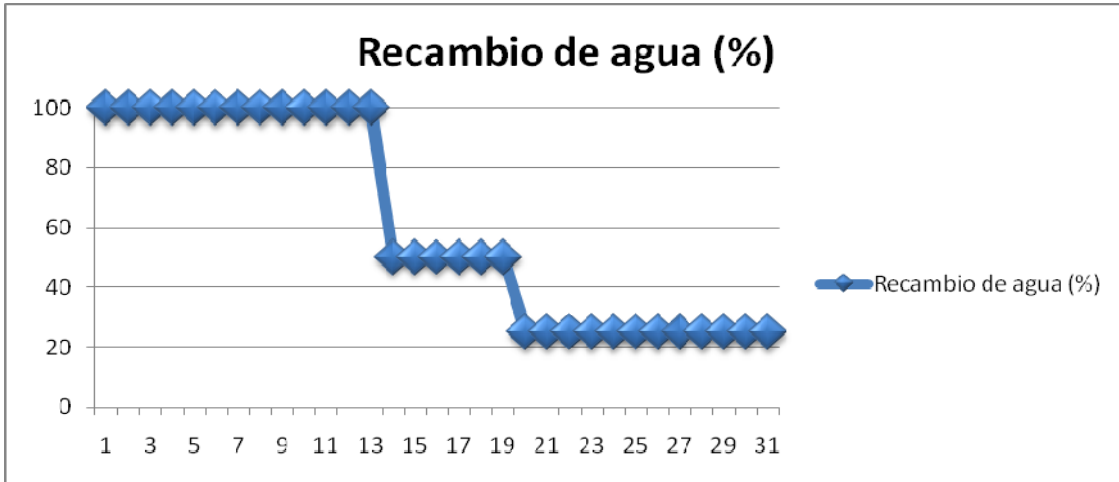


Aquí podemos observar los gráficos de temperatura y pH.

Con respecto a la temperatura tuvo bastante diferencia entre un día y otro, esto debido a factores externos del sistema, como son por ejemplo el calor de la bomba y la temperatura ambiente.

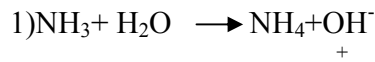
Con respecto al pH podemos ver que siempre se mantuvo débilmente ácido debido a la existencia de una descarga básica por la disolución del amoníaco y luego la oxidación del amonio que da lugar a una descarga ácida, que fue controlada en el biofiltro con la adición de bicarbonato de Sodio.

Gráfico N°8



El grafico muestra el recambio de agua en porcentaje, en relación a la cantidad total de agua. La primera semana fue necesario el recambio de agua todos los días porque era necesario mantener un volumen constante de agua para evitar la disminución del pH debido a la concentración de amoníaco. La baja del 100% al 50% en la tercera semana se debe a que empiezan a disminuir paulatinamente el nivel de amoníaco (grafico 1), lo que significa que el biofiltro funciona y cumple su función de limpiar el agua, y deja de ser imperativo el recambio de agua para mantener la estabilidad.

Reacciones:



Químicamente en nuestro sistema se cumplen tres reacciones fundamentales que son: en la primera se puede ver que el amoníaco al entrar en contacto con el agua se transforma en amonio, siendo este un compuesto no tóxico para los peces, no así el amoníaco, el cual provoca la asfixia de los peces. En la segunda reacción se puede apreciar que el amonio del agua al entrar en contacto con las bacterias nitrosas (*nitrosomas*, *nitrosospira*, etc.) se oxida a nitrito. Y este a su vez en la última reacción se oxida a nitrato, producto final de la nitrificación y el preferido por los vegetales a través de las bacterias nítricas (*nitrospira*, *nitrobacter*, etc.).

El biosistema durante las dos primeras semanas mantuvo un recambio de agua del 100% diario, ya que el biofiltro no estaba operativo, este aporte fue disminuyendo hasta alcanzar un 25% de recambio diario.

Con respecto al biofiltro podemos decir que este funcionó correctamente, ya que, los días que se tuvo grandes niveles de amonio, también se tuvo una cantidad importante de nitrato a la salida del biofiltro. Cabe señalar que en el biofiltro han proliferado hongos, se hace necesario estudiar la causa y posibles soluciones a esto.

12. 13. Análisis y Conclusiones

El amoniaco producido por los peces, que ha sido medido por test específicos, es efectivamente transformado en nitrito y nitrato por las bacterias presentes en el biofiltro, lo que queda demostrado por la presencia de estos compuestos a partir de la tercera semana de instalación del sistema y por la disminución de amoniaco y nitrito en éste los días en que los peces no fueron alimentados.

Las lechugas son capaces de sobrevivir y crecer utilizando el nitrato generado por el biofiltro, esto queda en evidencia ante la disminución de nitratos durante los días en que los peces no fueron alimentados. Sin embargo, la presencia de clorosis en las lechugas podría significar entre otras cosas: un aporte insuficiente de nitrato al sistema, causado posiblemente por un biofiltro incapaz de transformar una mayor parte del amoniaco o amonio (ya que el test no permite discriminar el compuesto) en nitritos y nitratos, esta posibilidad se ve respaldada por la mantención elevada de los niveles de amoniaco. Esto define una nueva línea de investigación que tiene que ver con el tamaño del filtro adecuado para el sistema o la densidad poblacional de peces y plantas adecuada al sistema ya existente. Otra posible causa de la clorosis tiene que ver con la presencia de hongos en el sistema que podrían estar afectando las raíces y con ello la absorción de nutrientes a nivel radicular. Es importante considerar que el Nitrógeno y Fósforo si bien son dos de los nutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas, no son los únicos y habría que considerar un aporte externo al sistema mediante un fertilizante si al agotar las investigaciones ya planteadas no hay un efecto favorable en el vigor, color y tamaño de las plantas.

De aquí podemos concluir que son cuatro los puntos débiles del proyecto, que son: un biofiltro incapaz de transformar el amoniaco en su totalidad a nitrato, la posible existencia de hongos, la falta de micronutrientes y la relacion optima de poblaciones de peces y plantas. Todo esto nos abre nuevas líneas investigativas, que fueron imposible llevar a cabo en el momento de poner en marcha la planta piloto. Y es precisamente el estudio de estos asuntos lo que determina nuestra línea investigativa a futuro, a modo de poder establecer relaciones concretas entre los componentes del sistema, y alcanzar un nivel optimo de autosustentabilidad del mismo.

Por otro lado, el sistema es viable, con un recambio de agua superior al de sistemas estabilizados, sin embargo, este recambio podría disminuir en la medida que se sigan las líneas de investigación ya mencionadas.

Por último y muy importante; queda demostrado que este sistema permite disminuir la presencia de un compuesto altamente tóxico como el amoniaco en las aguas, lo que indica

que ésta sería una excelente alternativa para mejorar la calidad de las aguas residuales provenientes de crianzas de peces, antes de devolver éstas a los cursos de agua.

Sacando conclusiones más prácticas, en la región existen 33 pisciculturas, que al incorporar nuestro sistema podrían reducir la emisión de aguas residuales. Además nuestro proyecto ayuda en situaciones de catástrofe (como el 27/02/2010), en la eventualidad de la pérdida de espacios dedicados a la agricultura, entregando un reemplazo para los productos de este negocio, como son plantas para alimentar población afectada por el terremoto y como producto alternativo, los peces criados en nuestro sistema también pueden ser destinados al consumo humano. También podemos considerar como catástrofe a la infección y destrucción de pisciculturas, como por ejemplo, con la infección con el virus ISA, y como contribución de nuestro proyecto hacia estas porque con el cultivo de peces podemos reponer la población de truchas o cualquier especie mientras se mantengan asépticas las instalaciones en donde se realice la acuicultura.

14. Bibliografía:

- M.B Timmons , entre otros, "Sistemas de recirculación para acuicultura", Fundación Chile 2002, capítulos 2-5-9-18
- Marcelo Álvarez, Profesor guía: Javier Quevedo, Tesis: "Diseño y evaluación de un sistema de recirculación con fines experimentales en Acuicultura"; UCT.2001
- <http://fins.actwin.com/mirror/es/empezar-tests.html>
- <http://www.fao.org/docrep/006/Y1187S/y1187s05.htm>