



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL MAR DEL PLATA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Título: Desarrollo de alternativas sustentables para el aprovechamiento de metabolitos disueltos y efluentes semisólidos sedimentables generados durante el cultivo intensivo de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*.

Tesista: Zanazzi, Aldo Nahuel

Director: Dr. Juan Carlos Mallo

Codirectora: Dra. Yamila Eliana Rodriguez

Año 2020



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mar del Plata*

"2020 – Año del General Manuel Belgrano"

Desarrollo de alternativas sustentables para el aprovechamiento de metabolitos disueltos y efluentes semisólidos sedimentables generados durante el cultivo intensivo de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*.

Tesis para optar por el título de grado de la Licenciatura en Gestión Ambiental por:

Aldo Nahuel Zanazzi

2020

Director: Dr. Juan Carlos Mallo

Co-Directora: Dra. Yamila Eliana Rodriguez

“Yo soy como soy y tú eres como eres, construyamos un mundo donde yo pueda ser sin dejar de ser yo, donde tú puedas ser sin dejar de ser tú, y donde ni yo ni tú obliguemos al otro a ser como yo o como tú”.

Subcomandante-Marcos

Contenido

Resumen	5
1. Introducción.....	7
2. Materiales y métodos.....	15
2.1. Lugar de estudio.....	15
2.2. Residuos semisólidos sedimentables (RSS)	16
2.2.1. Extracción y caracterización físico-química.....	16
2.2.2. Tratamiento con desinfectante	18
2.2.3. Procedimiento interno para la gestión de los residuos semisólidos sedimentables	18
2.3. Metabolitos disueltos	19
2.3.1. Diseño y armado del sistema biointegrado acuapónico.....	19
2.3.2. Bioensayo de crecimiento de albahaca en sistema acuapónico con tilapia del Nilo	21
.....	
2.3.3. Procedimiento interno de gestión para el aprovechamiento de los metabolitos	
disueltos	24
3. Resultados.....	25
3.1. Residuos semisólidos sedimentables	25
3.2. Aprovechamiento de metabolitos disueltos para el crecimiento de albahaca.....	27
4. Discusión	30
5. Conclusión.....	38
Referencias Bibliográficas.....	40
ANEXO I. Procedimiento de Gestión Integral de los Residuos Semisólidos Sedimentables	
del Laboratorio de Acuicultura.....	47
ANEXO II. Procedimiento Interno de Gestión para el Aprovechamiento de los Metabolitos	
Disueltos a través de un Sistema Acuapónico en el Laboratorio de Acuicultura.....	53

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mar del Plata el haberme formado académica y profesionalmente durante tantos años y brindarme el espacio y las herramientas necesarias para poder realizar esta Tesis.

Al Laboratorio de Acuicultura LACUI y a todos/as sus integrantes que me brindaron su apoyo.

A Pato Mallo, jefe y amigo y a Fede, Paula, Arturo, Brian y Pedro compañeros de trabajo y a esta altura amigos, que me ayudaron y acompañaron a lo largo de esta experiencia.

A todos/as mis amigos/as que siempre están al pie del cañón.

A mi familia, Ana, Fito, Ani, Alu (con sobrino en panza) y Estre que me enseñaron y acompañaron en mi formación como persona para poder llegar a ser quien soy hoy.

Por ultimo a quien más tengo que agradecer, y tengo toda la vida para hacerlo, es a Yamila, mi compañera, amante y amiga, con quien hemos decidido emprender este viaje de vida con la única certeza de que en los malos y buenos momento siempre estaremos el uno para el otro. Sin su apoyo, esta Tesis nunca hubiese existido. Gracias mi amor.

Resumen

La presente Tesis plantea alternativas para el aprovechamiento de los residuos semisólidos sedimentables (RSS) descartados por el cultivo de peces y los metabolitos disueltos en el agua de los mismos, dentro de las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura (LACUI) ubicado en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mar del Plata. Primero, se estudiaron algunas características físico-químicas y microbiológicas de los RSS. La mayoría de estos valores estaban dentro de las concentraciones establecidas para vuelcos a la red cloacal, a excepción de los sólidos sedimentables. Además, estos resultados mostraron un adecuado contenido de ciertos nutrientes necesarios para el crecimiento de plantas. Sin embargo, se requieren análisis complementarios para determinar si legalmente pueden ser utilizados con esta finalidad. Por otra parte, se llevó a cabo un experimento con el fin de demostrar el aprovechamiento de los metabolitos disueltos en agua (resultantes de las excreciones de los peces) para el crecimiento de vegetales. El mismo consistió en desarrollar un sistema biointegrado donde se complementó el cultivo tradicional de tilapia del Nilo en sistemas de recirculación de agua utilizados en LACUI con un sistema hidropónico de cultivo de plantas en agua, testeando el crecimiento de 42 ejemplares de albahaca durante un periodo de 28 días. Las plantas partieron de un peso promedio inicial de $0,5 \pm 0,18$ g y alcanzaron un peso promedio final de cosecha de $30,4 \pm 10,41$ g, con una cantidad de hojas (parte comestible) de $4 \pm 0,56$ al inicio y $19,1 \pm 6,88$ al concluir el experimento. Los resultados obtenidos se enmarcan dentro del concepto de desarrollo sostenible, poniendo énfasis en el avance de una actividad productiva en crecimiento a nivel mundial como la acuicultura dentro del nuevo paradigma económico de economía circular, el cual plantea entre otras cosas, revalorizar los residuos pudiendo ser aprovechados por otra actividad productiva (Figura 1).

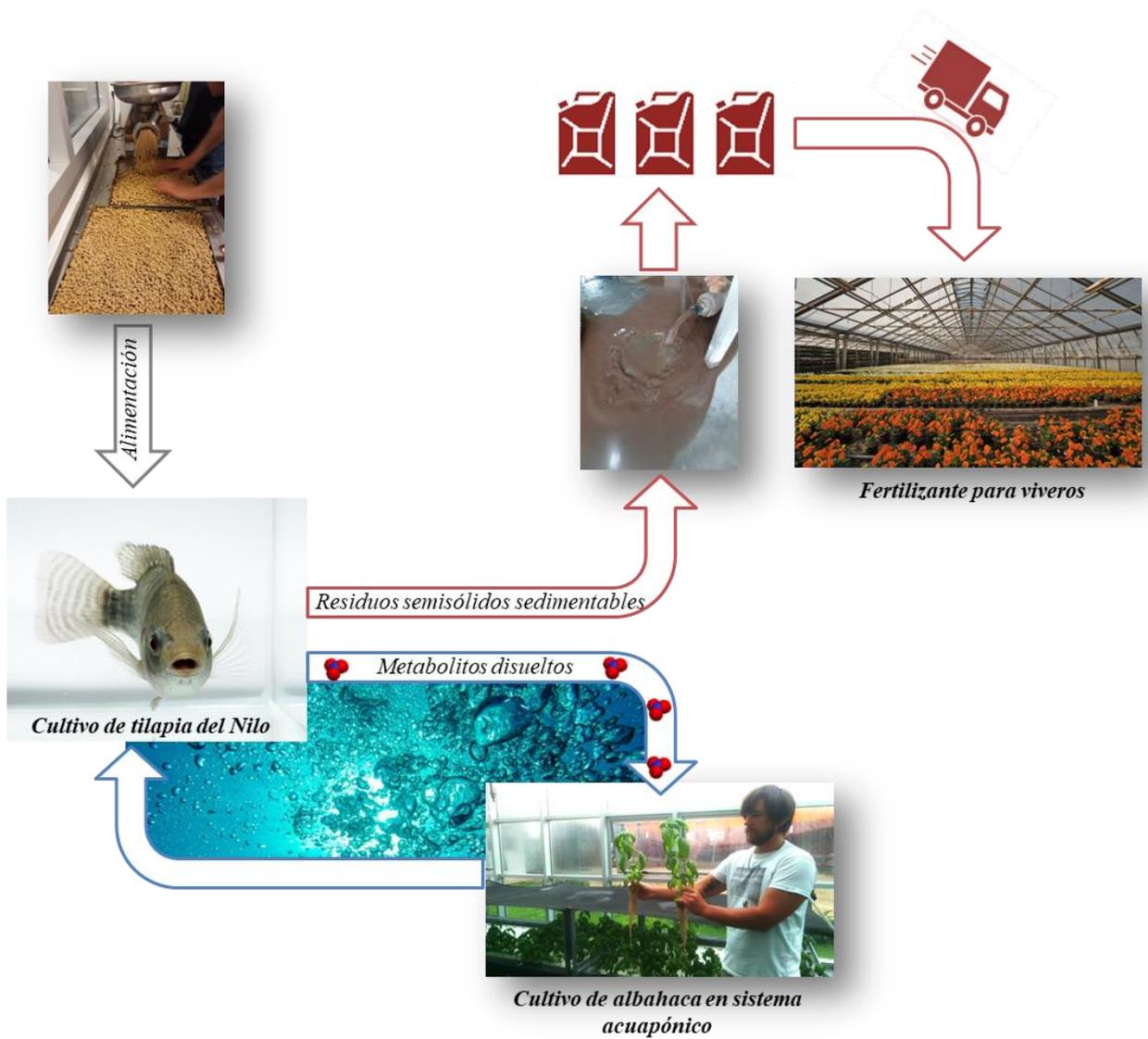


Figura 1. Resumen gráfico del aprovechamiento de los residuos semisólidos sedimentables y metabolitos disueltos en el agua generados durante el cultivo de tilapia del Nilo para el crecimiento de plantas.

1. Introducción

La vida acuática es uno de los recursos alimenticios de mayor importancia a nivel mundial, siendo este explotado por medio de la pesca y la acuicultura. En 2018, poco más del 87% de los 179 millones de toneladas de la producción pesquera total se utilizaron para consumo humano directo (FAO¹, 2020). El último reporte de la FAO determinó que el total de la producción mundial de la pesca de captura registrado para el 2018 fue de 96,4 millones de toneladas, lo que supone un ascenso en comparación con el año anterior que fue de 93,1 millones de toneladas (FAO, 2020). Con las capturas globales decayendo desde 1980 y otros conflictos sin resolver, la pesca global no parece sustentable (Pauly et al., 2002), lo que resulta en un proceso que se ha venido conociendo a este momento como “la crisis de las pesquerías”.

Según la FAO (2010) “en 2007 el pescado representó el 15,7% del aporte de proteínas animales de la población mundial y el 6,1% de todas las proteínas consumidas. En el ámbito mundial, el pescado proporciona a más de 1.500 millones de personas cerca del 20% de su aporte medio per cápita de proteínas animales y a 3.000 millones de personas el 15% de dichas proteínas”. Dentro de este panorama entra en juego la acuicultura para tomar una posición preponderante en la producción de alimentos. Esta actividad engloba a todas aquellas labores que tienen por objeto la producción, crecimiento y comercialización de organismos acuáticos (Barnabé, 1991). Como se puede ver reflejado en la Figura 2 la contribución de la acuicultura a la producción mundial de la pesca de captura ha venido

¹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

umentando de forma constante hasta llegar al 46,8% en 2016, lo que supone un aumento con respecto al 25,7% del año 2000 (FAO, 2018).

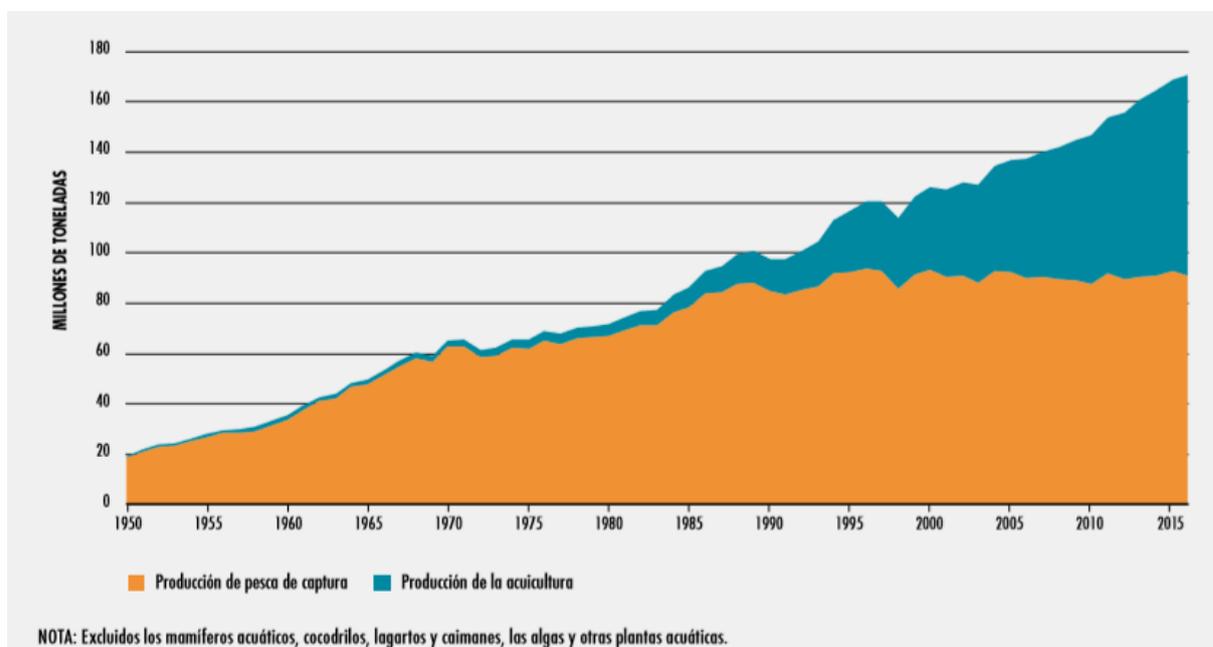


Figura 2. Evolución en la producción de pesca de captura y producción acuícola a lo largo de los años (FAO, 2018).

Siguiendo con esta línea, la FAO (2018) asevera que durante el 2016 la producción mundial de la acuicultura, incluidas las plantas acuáticas, ascendió a 110,2 millones de toneladas, estimadas en un valor de primera venta de 243.500 millones de USD. La producción de vertebrados e invertebrados cultivados comprendió 54,1 millones de peces de aleta (138.500 millones de USD), 17,1 millones de toneladas de moluscos (29.200 millones de USD), 7,9 millones de toneladas de crustáceos (57.100 millones de USD) y 938.500 toneladas de otros animales acuáticos (6.800 millones de USD) tales como tortugas, cohombros de mar, erizos de mar, ranas y medusas comestibles. Entre las plantas acuáticas cultivadas figuran las algas marinas y, en un volumen de producción mucho menor, las

microalgas. La acuicultura sigue creciendo a mayor ritmo que otros sectores importantes de la producción de alimentos y si bien el crecimiento anual descendió a un moderado 5,8% durante el período 2001-2016, siguió registrándose un crecimiento de dos dígitos en algunos países, especialmente del continente africano entre 2006 y 2010 (FAO, 2018).

Si bien en la Argentina la explotación acuícola es incipiente, esta actividad posee un alto potencial de desarrollo en el territorio nacional debido a que cuenta con amplios recursos hídricos, así como una gran disponibilidad de insumos para la producción de alimento balanceado. En el país, la actividad de la acuicultura comercial semi-industrial comenzó a crecer a partir de la década de los '90 y, si bien muestra un crecimiento lento, este se ha mantenido firme hasta la actualidad. En este sentido, los volúmenes de producción pasaron desde las 1.000 toneladas en 1996, hasta más de 3.700 toneladas para el 2016, con un máximo de producción en el año 2014 de 4.027 toneladas (Panné Huidobro, 2016). El total de especies producidas destinadas al consumo humano ascendió de un total de 2 en 1996 a las de 23 especies en el 2016, incluyendo peces, moluscos bivalvos, reptiles y anfibios (FAO, 2016).

Por otro lado, en base a los aportes nutricionales que se otorguen al sistema de cultivo, los sistemas acuícolas pueden clasificarse en las siguientes categorías (Solimano, 2013; Tacon, 1995): *extensivos*, el crecimiento de los organismos depende totalmente de la productividad natural del cuerpo de agua; *semi-extensivos*, la producción del alimento vivo presente en el cuerpo de agua se estimula mediante la aplicación de fertilizantes químicos y/o abonos orgánicos; *semi-intensivos*, los requerimientos nutricionales de los organismos de cultivo son suministrados por una combinación de alimento vivo endógeno y alimento suplementario suministrado de forma exógena; e *intensivos*, en los que los nutrientes provienen completamente de fuentes exógenas al cuerpo de agua. Los Sistemas de

Recirculación Acuícola (RAS, según sus siglas en inglés) se incluyen dentro de esta última categoría. Estos sistemas, a diferencia del método tradicional de cultivo de peces en estanques abiertos al aire libre, jaulas o tanques, permiten la cría de peces en altas densidades dentro de un ambiente de crianza controlable por el operador de la instalación. Además, son amigables con el ambiente, ya que sólo se añade agua nueva a los tanques para compensar su pérdida producto de las salpicaduras y la evaporación, así como para reemplazar la que se utiliza para eliminar los materiales de desecho. Sin embargo, en un análisis sobre la inserción que la acuicultura tiene en el medio ambiente y en la sociedad, Vinatea (1999) destaca que la acuicultura debe ser comprendida en toda su complejidad, dejando de lado la simplicidad e imprudencias que han caracterizado las tecnologías emergentes. Las nuevas tecnologías traen éxito repentino, sin dominar el conocimiento necesario y sin una reglamentación que evite cometer errores y alcanzar los límites de capacidad de carga de los cultivos. En este punto, aparece la reducción en la producción, los puntos críticos, las mortalidades y el abandono de la actividad. Por eso, hoy en día se debe hablar de realizar una actividad que pueda permanecer en el tiempo sin causar deterioro en el ambiente ni problemas socioeconómicos. Además, este autor sostiene que la acuicultura responsable es aquella que además de ser rentable se hace a conciencia y respetando el ambiente en su totalidad.

Por su parte Papoutsoglou (1991) y Piedrahita (2003) aclaran que, con el aumento de la producción piscícola, la actividad cambió, dejando de ser estrictamente aquella piscicultura familiar para convertirse en una industria generadora de mayor lucro y mayores impactos ambientales. La producción de peces, como cualquier otra producción de organismos vivos, genera impactos al medio ambiente a causa de la liberación de heces, productos de excreción, restos de alimento y medicamentos que se asocian a diversos problemas ambientales en los ecosistemas acuáticos: acidificación de ríos y lagos con baja o

reducida alcalinidad; eutrofización de las aguas dulces y marinas (con el problema adicional de las algas tóxicas), aumento en la concentración de sólidos en suspensión (SST), aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO), aumento en la demanda química de oxígeno (DQO), formas de nitrógeno y fósforo, entre otras. Asimismo, Vezzuli et al. (2008) y Crab et al. (2007) sostienen que los efluentes acuícolas con alta carga de materia orgánica pueden también incrementar la turbidez del agua en los ambientes donde son vertidos, promover la incidencia de afloramientos fitoplanctónicos y aumentar el potencial de transmisión de patógenos y enfermedades tanto de organismos silvestres en las áreas cercanas a la granja, así como los de cultivo.

Dentro del abanico de sistemas de cultivo existentes, el cultivo intensivo de organismos acuáticos, particularmente peces, en sistemas de recirculación de agua produce un bajo volumen de efluentes con una alta carga de nutrientes y materia orgánica que deben ser tratados previo a su disposición final (Timmons y Ebeling, 2007). Estos residuos consisten principalmente en productos metabólicos solubles, así como en sólidos presentes en forma de heces y alimentos no consumidos (Muir, 1982; Thorpe y Cho, 1995), por lo que requieren de un tratamiento adecuado para su posterior devolución al ambiente, y así cumplir con los límites legales establecidos y posibilitando el menor impacto posible. En el caso de la provincia de Buenos Aires estos límites están contemplados en la Res. A.D.A. N° 336/03, en el Anexo II “Parámetros de Calidad de la Descarga Límite Admisibles” a Colectora Cloacal (A.D.A., 2010).

Particularmente, en el Laboratorio de Acuicultura de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mar del Plata, se realizan desde el año 2014, actividades de investigación y prácticas de alumnos supervisadas orientadas a la mantención y producción,

a escala piloto, de peces en sistemas de recirculación de agua. El mismo se ubica en un edificio independiente pero integrado a dicha Facultad, que se encuentra situada en el Puerto de la ciudad de Mar del Plata, partido de Gral. Pueyrredón. Los sistemas RAS que funcionan en este laboratorio poseen una serie de filtros, que se vacían y limpian rutinariamente. En este sentido, de esta actividad surgen aproximadamente 500 litros de efluentes semisólidos sedimentables diarios que son depositados a la red cloacal, pudiendo generar impactos negativos en el ambiente. Consecuentemente, con el objetivo de realizar actividades de investigación sustentables, resulta necesario evaluar si los residuos actualmente desechados en la red cloacal están dentro de los límites establecidos por la normativa provincial. Además, es importante afianzar la búsqueda de herramientas alternativas para que estos desechos puedan ser aprovechados por otras actividades productivas. Al respecto, surge la posibilidad de aprovechar estos residuos semisólidos sedimentables (principalmente heces y alimento no consumido) resultantes de las operaciones acuícolas para su aplicación como fertilizantes para el crecimiento de plantas (Olson, 1992; Miller y Semmens, 2002). En concordancia con la FONDEF (2003), la utilización de los efluentes acuícolas por parte de otras actividades, como la agricultura, la forestación y la jardinería, permitiría reducir el impacto ambiental y contribuir al desarrollo sostenible de las producciones alimentarias actuales.

Por otro lado, en este tipo de sistemas se generan metabolitos disueltos en el agua a partir de la degradación de compuestos orgánicos (productos de excreción de los peces y restos de alimento) que poseen una carga importante de nitrógeno y de fósforo (Suhl et al., 2016). La acumulación de estos metabolitos puede perjudicar la salud de los organismos de cultivo; por ejemplo, el exceso de amonio (NH_4^+) resulta tóxico ya que en concentraciones elevadas, desplaza al potasio, lo que provoca una despolarización de las neuronas, causando convulsiones y muerte (Randall y Tsui, 2002). De esta manera, dentro de un RAS se deben

hacer importantes recambios de agua en el sistema para poder eliminar las altas concentraciones de estos metabolitos, lo cual conlleva en ocasiones a un uso desmedido del recurso hídrico. Una alternativa sustentable para solucionar este problema es integrar la acuicultura y la agricultura hidropónica aprovechando los metabolitos disueltos para el crecimiento de vegetales (Campos-Pulido et al., 2013). A tales sistemas de producción combinada se los conoce como acuaponía (Caló, 2011); estos conforman un único sistema de recirculación, en el cual se unen el componente acuícola y el componente hidropónico. Consecuentemente, en los sistemas acuapónicos, los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal. De esta forma, se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que el agua libre ya de nutrientes queda disponible para ser reutilizada. Por lo tanto, se disminuye significativamente el impacto ambiental generado por los sistemas de cultivo intensivo. No obstante, en Argentina esta actividad es incipiente registrándose, hasta el momento, sólo un emprendimiento comercial ubicado en la localidad de Marcos Paz, provincia de Buenos Aires (Friedlander, 2018). Actualmente, tal emprendimiento consta de una capacidad de producción de 5000 plantas de lechuga o albahaca al mes que crecen en sistemas de recirculación de agua en complemento con el cultivo de peces de la especie tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*.

Por consiguiente, la puesta en marcha en el Laboratorio de Acuicultura de un sistema biointegrado de dos especies de relevancia económica como la albahaca *Ocimum basilicum* y la tilapia del Nilo *O. niloticus* constituye una alternativa para el desarrollo de una actividad sustentable. La albahaca es una de las principales especies vegetales cultivada en sistemas acuapónicos debido a su gran aceptación en el mercado nacional e internacional; además, es una de las especies aromáticas más utilizadas en la actividad culinaria y la medicina

tradicional por su alto contenido de compuestos fenólicos y aceites esenciales, que le otorgan su característico aroma y sabor (Colorado et al, 2013). Por su parte, la tilapia posee la ventaja de crecer rápidamente con alimentos balanceados de bajo contenido proteico (reduciendo costos operativos) y, a su vez, tolerar aquellos con mayor porcentaje de proteína vegetal. Además, estos peces se reproducen fácilmente en cautiverio, pueden cultivarse de manera intensiva, son relativamente resistentes a enfermedades, presentan una elevada supervivencia, entre otras (El Sayed, 2006); todas características que han permitido su producción en más de 100 países (FAO, 2009). Asimismo, su amplio mercado de consumo constituye las bases para la expansión de la industria de la tilapia en los años venideros.

En este contexto, se plantean los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos generales

- Desarrollar alternativas de gestión ambiental para hacer efectivo el aprovechamiento de los residuos semisólidos sedimentables y metabolitos disueltos en agua que se generan durante el cultivo de peces en los sistemas RAS, en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad Regional Mar del Plata (Universidad Tecnológica Nacional).
- Contribuir a mejorar el desempeño ambiental del Laboratorio de Acuicultura de la Facultad Regional Mar del Plata (Universidad Tecnológica Nacional).
- Promover acciones de articulación y trabajo interdisciplinario en el nivel institucional a través de una tesis relacionada con una actividad de relevancia local como es la piscicultura.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar físico-químicamente y microbiológicamente los residuos semisólidos sedimentables provenientes de los sistemas RAS con el fin de categorizarlos en función de la normativa nacional.
- Analizar la eficiencia de distintas concentraciones de cloro en la reducción de la actividad microbiológica presente en los residuos semisólidos sedimentables.
- Diseñar y elaborar un sistema acuapónico biointegrado de dos especies de relevancia económica como la albahaca *Ocimum basilicum* y la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* que permita el aprovechamiento de los metabolitos disueltos en agua generados en los sistemas RAS para el crecimiento de estos vegetales.
- Evaluar el crecimiento de la albahaca *O. basilicum* y la capacidad que poseen las plantas del sistema acuapónico para remover los metabolitos disueltos en agua generados por la tilapia del Nilo *O. niloticus* en los sistemas RAS.

2. Materiales y métodos

2.1. Lugar de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Acuicultura ubicado en un edificio independiente pero integrado a la Facultad Regional Mar del Plata de la Universidad Tecnológica Nacional, situada en el Puerto de esta ciudad. El mismo consta de un módulo de producción acuícola (162 m²) donde se encuentran ubicados los diferentes sistemas de recirculación de agua o RAS (tanques de cultivo, filtros y bombas de agua y aire) (Figura 3a). A su vez posee un módulo de producción de sistemas auxiliares, completamente vidriado de 47 m², donde se sitúa el sistema de producción acuapónico (Figura 3b).

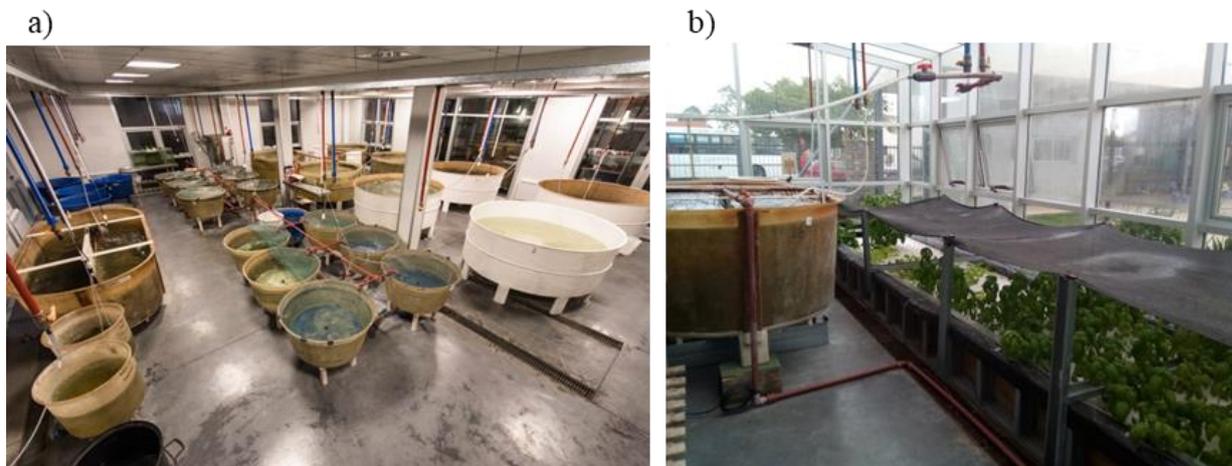


Figura 3. Laboratorio de Acuicultura dónde se desarrolló el estudio. a) Módulo de producción acuícola, b) Módulo de producción acuapónico.

2.2. Residuos semisólidos sedimentables (RSS)

2.2.1. Extracción y caracterización físico-química

Los residuos semisólidos sedimentables (RSS) se producen en los sistemas de recirculación de agua utilizados en el Laboratorio de Acuicultura para la cría de peces (Figura 4). Estos residuos se acumulan en los filtros sedimentadores y se extraen rutinariamente (Figuras 4 y 5).

Inicialmente, se realizó un análisis integral de los RSS para caracterizarlos físico-químicamente. Para esto, una muestra de 450 ml se extrajo del filtro sedimentador (Figura 5) y se envió al Laboratorio de Análisis Industriales de la misma institución, para realizar dicho análisis siguiendo el protocolo detallado en SM (2012).

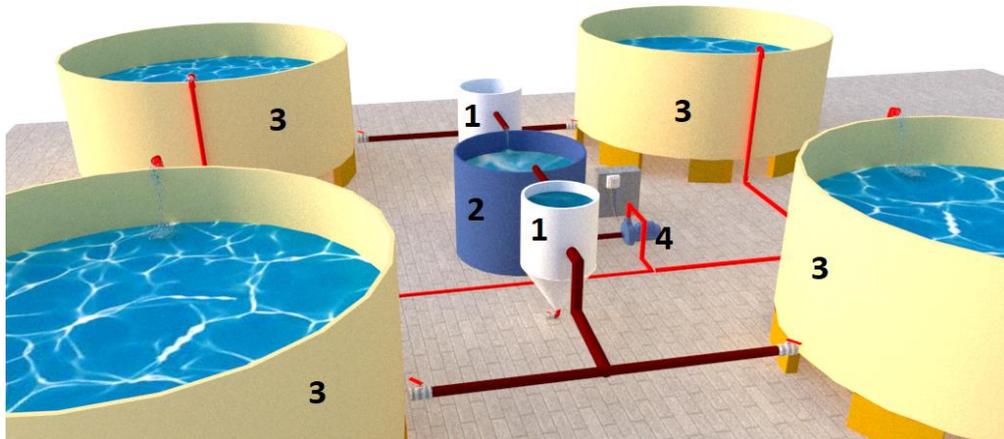


Figura 4. Componentes del sistema de recirculación de agua para cría de peces.
Referencias: 1: Filtro sedimentador donde se extraen y acumulan los RSS; 2: Filtro biológico; 3: Tanques de peces; 4: Bomba centrífuga.



Figura 5. Filtro sedimentador de RSS.

2.2.2. Tratamiento con desinfectante

Por otro lado, con el fin de minimizar la actividad microbiológica de los RSS y evaluar si pueden ser utilizados para el riego de vegetales comestibles evitando el riesgo de contaminación, a este tipo de residuos se lo sometió a distintas concentraciones de cloro. Para esto se extrajo una muestra de 1350 ml del filtro sedimentador mostrado en la Figura 5, que se ubica dentro del sistema RAS de cultivo de tilapia del Nilo. Dicha muestra fue subdividida en tres submuestras de 450 ml cada una. Una fue llevada al Laboratorio de Análisis Industriales de la misma institución, para realizar un análisis microbiológico (SM, 2012) para constatar la presencia de microorganismos antes de tratar con desinfectante. Posteriormente, las dos submuestras restantes se sometieron durante una hora a dos concentraciones de cloro (agua lavandina “Ayudin” de 25gr Cl/l) de 55,5 ppm y 111,1 ppm que son las que se utilizan rutinariamente dentro del Laboratorio de acuicultura para la desinfección (tanques, mangueras, etc.). Pasado este tiempo se procedió a declorar los tratamientos con Tiosulfato de Sodio en una relación 1:1 p/p (1 gr de Tiosulfato de Sodio por 1 gr de Cloro suministrado). Al finalizar se enviaron las dos submuestras al mismo laboratorio para poder comparar con la muestra inicial la carga microbiológica.

2.2.3. Procedimiento interno para la gestión de los residuos semisólidos sedimentables

Adicionalmente, se procedió a la elaboración de un documento con el objeto estandarizar la gestión, de forma sustentable, de los RSS generados por el Laboratorio de Acuicultura (FRMdP-UTN) e implementarlo dentro de las actividades de rutina que desarrolla dicho establecimiento. De esta manera, la ejecución del mencionado documento por parte de los/as integrantes del grupo de investigación permitirá contribuir al mejor desempeño ambiental de dicho espacio, además de otorgar un valor a este tipo de residuos debido a que se buscará una alternativa viable para su disposición final.

2.3. Metabolitos disueltos

2.3.1. Diseño y armado del sistema biointegrado acuapónico

Con el fin de poner a prueba el aprovechamiento por parte de vegetales de los metabolitos disueltos producidos por las excreciones de los peces cultivados en un RAS se realizó un bioensayo en el mencionado Laboratorio de Acuicultura. Tal experimento consistió en colocar en un mismo sistema de recirculación, peces (piscicultura) y plantas (hidroponía), como se esquematiza en la Figura 6.

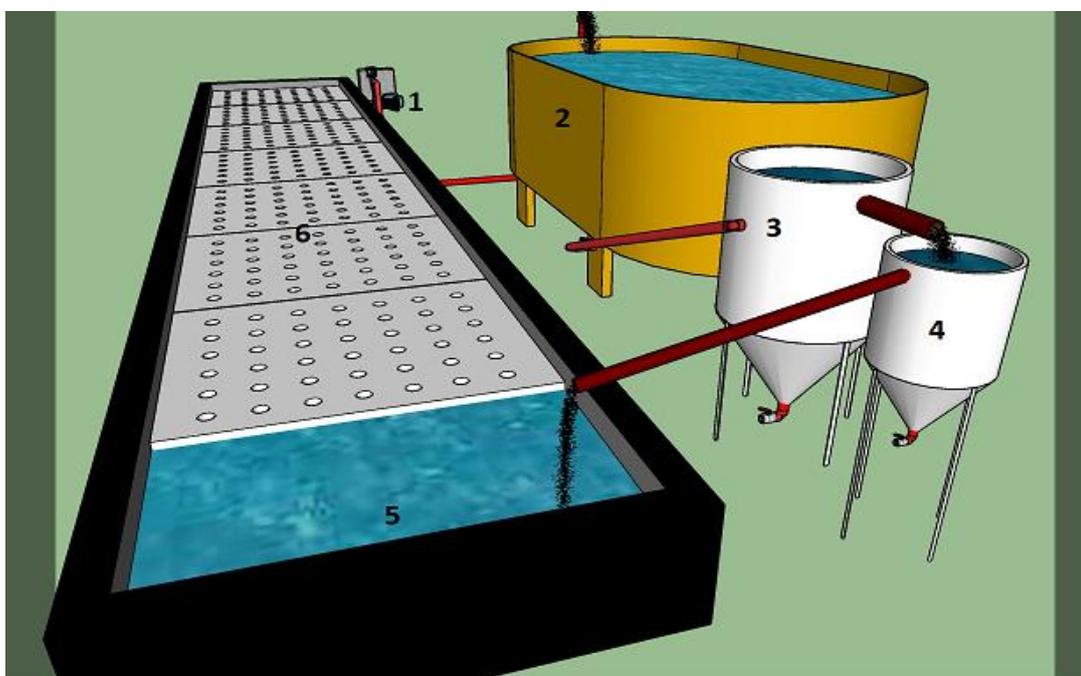


Figura 6. Sistema acuapónico utilizado para el crecimiento de albahaca y tilapia del Nilo.

Referencias: 1: Bomba centrífuga; 2: Tanque contenedor de peces; 3: Sedimentador; 4: Filtro mecánico; 5: Filtro biológico; 6: Planchas soporte de plantas.

Para su diseño se seleccionó un tanque de fibra de vidrio tipo “raceway” de 2500 l donde se ubicaron los peces (Figura 6). La forma ovalada de este tipo de tanque permite que la circulación del agua dentro del mismo arrastre los RSS hacia la salida ubicada en la base

y en contraposición de la entrada, permitiendo su acumulación y extracción. Para esta operación se eligió, en primer lugar, un sedimentador también de fibra de vidrio de 250 l con forma tronco-cónica (Figura 6). Este permite, a través de un desnivel en la entrada y salida del agua, una disminución de la velocidad de circulación de la misma con una consecuente acumulación en el fondo de RSS decantados por su propio peso, listos para ser extraídos del sistema por medio de una llave de purga. El agua que sale de este sedimentador pasa inmediatamente a un filtro mecánico (Figura 6) que tiene el objetivo de acumular los RSS que no pudieron ser colectados por la operación unitaria anterior; para esto se utiliza como material filtrante grava de diferente granulometría contenida en un recipiente de fibra de vidrio de forma tronco cónica, similar al tanque sedimentador pero de un volumen menor (150 l). Así, el agua circula desde la parte inferior del tanque hacia la superior atravesando dos capas de grava, la primera de alrededor de 5 cm de grosor de granulometría cercana 0,5 cm de diámetro y la segunda de unos 20 cm de grosor con diámetros superiores de gravas de alrededor de 2 cm.

A continuación, el agua circula hacia el filtro biológico mostrado también en la Figura 6, donde se lleva a cabo el proceso de nitrificación en el cual el amonio y amoniaco proveniente de las excreciones de los peces, son transformados a nitrito y luego, nitrato. Para este proceso se utilizó una porción (tamaño: 1 x 0,5 x 0,5 m) de la pileta destinada a la hidroponía, la cual se separó a través de una tela “media sombra”. En este espacio se introdujeron 20000 unidades de “bioball” que servirían de sustrato para la fijación de las bacterias nitrificantes. Posteriormente, al agua circula a lo largo de dicha pileta (tamaño total: 7 x 1 x 0,5 m, Figura 6) destinada al cultivo de vegetales en agua, desde la salida del filtro biológico hasta la bomba de succión colocada en el extremo contrario. Desde la entrada del agua al tanque de peces hasta este punto, el agua circulante es impulsada sólo por la fuerza

de gravedad. Por su parte una bomba de agua permite iniciar y mantener la recirculación constante en el sistema. Se seleccionó una bomba centrífuga de 1 Hp que mantenía un caudal constante de 500 l/h logrando una tasa de recambio de 1,8 veces el volumen total del sistema por hora.

Para el cultivo hidropónico se seleccionó el sistema de balsas flotantes en las cuales se requieren planchas de poliestireno expandido de 1 m² con 25 orificios equidistantes de 3,8 cm de diámetro para la ubicación de los vegetales, permitiendo mantener sus raíces en contacto con el agua y los nutrientes. Para el correcto balance entre la generación de desechos por parte de los peces, el aprovechamiento de estos por vegetales y el correcto funcionamiento del sistema en general se estimó que:

- La recirculación del volumen total del sistema se debía realizar como máximo cada una hora.
- Por cada 60-100 g de alimento suministrado a los peces se podría anexar 1 metro cuadrado de balsas para el cultivo hidropónico.
- Por cada 1 m² de balsa se podría producir como máximo 25 unidades de vegetales.

Así, para el diseño de la pileta contenedora de la hidroponía se tuvo en cuenta el espacio disponible y la cantidad máxima de alimento que podrá destinarse al tanque de peces para seguir la relación antes mencionada.

2.3.2. Bioensayo de crecimiento de albahaca en sistema acuapónico con tilapia del Nilo

La especie de pez seleccionada para la experiencia fue la tilapia del Nilo *O. niloticus* (Figura 7). Se colocaron 65 ejemplares con un peso promedio de $400 \pm 10,4$ g en un tanque

de fibra de vidrio de 2500 l. Así, la biomasa inicial fue de 26 kg mientras que la densidad de cultivo fue de 10,4 kg/m³.



Figura 7. Ejemplar de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*

Los peces se alimentaron diariamente con alimento balanceado formulado para los requerimientos nutricionales de la especie según Torres-Novoa y Hurtado-Nery (2012) (Tabla 1). Se analizó la composición proximal de la misma en el Laboratorio de Análisis Industriales siguiendo el protocolo AOAC (AOAC, 1995) (Tabla 1).

Por otra parte, se seleccionó como especie vegetal a la albahaca *O. basilicum*, para llevar a cabo el experimento. Cuarenta y dos ejemplares de esta planta, con un tiempo post germinación de 10 días y un peso de $0,5 \pm 0,18$ g, se colocaron sobre una balsa flotante de 1,2 m² fabricadas en poliestireno expandido de alta densidad (telgopor) con orificios distanciados entre si cada 17,14 cm x 16,6 cm, que permitían mantener la raíz dentro del agua obteniéndose una densidad de cultivo de 36 plantas/ m² (Figura 6).

Tabla 1. *Formulación y composición de la dieta utilizada para el engorde de tilapia del Nilo en el Sistema Acuapónico. Referencias: ^{1,5} Coomarpes Ltda. ² Viento Norte. ³ Guglielmetti. ⁴ Don Marcos. ⁶ Ingredion, Buffalo®034010. ⁷ Calier, Promotor “L”, Vitaminas + Aminoácidos. Composición (1 L).*

Ingredientes (g/kg de dieta)	Dieta control
Harina de pescado ¹	250,0
Harina de soja ²	350,0
Harina de trigo ³	200,0
Harina de arroz ⁴	100,0
Aceite de pescado ⁵	60,0
Almidón ⁶	38,0
Suplemento vitamínico y aminoácidos ⁷	2,0
Total	1000
Composición proximal	
Humedad (%)	6,3
Ceniza (%)	7,7
Grasa (%)	8,3
Proteína (%)	31,0
Carbohidratos (%)	46,7
Valor energético Kcal/100 g	385,5

El experimento tuvo una duración de 28 días, tiempo en el que las plantas alcanzaron un “tamaño comercial”. Al inicio y al final del mismo se tomaron medidas de peso (P), largo total (LT), largo sin raíz (LS) y cantidad de hojas de cada una de las plantas. Asimismo, durante este periodo de tiempo se tomaron tres muestras de agua para analizar las concentraciones de los compuestos nitrogenados (metabolitos disueltos generados por las excreciones de los peces) de interés para el crecimiento de las plantas. Dichas muestras se tomaron en diferentes puntos del sistema: tanque de peces, entrada al biofiltro y salida del

tanque de plantas. A su vez, se registraron diariamente la temperatura y el pH del agua del sistema utilizando un termómetro y pHmetro digital marca Adwa (Figura 8). Además, para obtener un crecimiento óptimo de las plantas, durante todo el experimento se agregó al sistema 2400 ml de ácido fosfórico (concentración 85%. Densidad 1740) manteniendo el pH cercano a neutro y 150 ml de quelato de hierro (Ferriliq, densidad 1,26 gr/l) como único fertilizante externo al sistema.



Figura 8. Equipo utilizado para determinar la temperatura y pH del agua durante el experimento de crecimiento de albahaca.

2.3.3. Procedimiento interno de gestión para el aprovechamiento de los metabolitos disueltos

Con los resultados obtenidos durante el bioensayo de crecimiento descrito en las subsecciones anteriores, se redactó un documento que establece el procedimiento interno de gestión para el aprovechamiento de los metabolitos disueltos para ser implementado en el Laboratorio de Acuicultura (FRMdP-UTN).

3. Resultados

3.1. Residuos semisólidos sedimentables

Los resultados del análisis fisicoquímico de los RSS se muestran en la Tabla 2. A su vez, en dicha tabla se detallan las descargas límites admisibles para colectora cloacal en la provincia de Bs. As. establecidas por la Resolución 336/2003-Anexo 2 (A.D.A., 2010).

Tabla 2. Resultado del análisis fisicoquímico llevado a cabo en la muestra de RSS y descargas límites admisibles para colectora cloacal en la provincia de Bs. As. establecidas por la Resolución 336/2003-Anexo 2 (A.D.A., 2010)

Determinación	Resultado	Límites para descarga en colectora cloacal
Temperatura (°C)	21	≤ 45
pH (Unid. pH)	7,85	7,0 – 10,0
DQO (mg/l)	123	≤ 700
DBO (mg/l)	14,3	≤ 200
Sólidos Sedimentables en 10 minutos (ml/l)	4	Ausente
Sólidos Sedimentables en 2 horas (ml/l)	14	≤ 5
S.S.E.E. (mg/l)	19	≤ 100
Sulfuros (ppm)	< 0,1	≤ 2,0
Amonio (mg/l)	12	≤ 75
Nitrogeno total (mg/l)	65	≤ 105
Fosforo total (mg/l)	7,7	≤ 10
Cloro libre residual (mg/l)	< 0,1	No estipulado

Se observa que todos los parámetros están dentro de los límites de descarga, a excepción de los sólidos sedimentables en 10 min y 2 horas (Tabla 2).

Por su parte, la comparación entre los distintos tratamientos de análisis microbiológico se puede observar en la Tabla 3. Los resultados arrojados muestran que los parámetros microbiológicos obtenidos con ambas dosis de cloro fueron exactamente iguales a los obtenidos en la sub-muestra inicial y sin cloro. A su vez, la Resolución 336/2003-Anexo 2 (A.D.A., 2010) sólo establece que las descargas límites admisibles para colectora cloacal de coliformes fecales deben ser ≤ 20000 NMP/100 ml, valor sumamente superior al obtenido para los RSS evaluados.

Tabla 3. Resultado del análisis microbiológico realizado sobre la muestra inicial y las sometidas a tratamiento con cloro.

Determinación	Inicial (sin cloro)	Cloro 55,5 ppm	Cloro 111 ppm
Bacterias aerobias mesofilas (UFC/ml)	> 500	> 500	> 500
Coliformes totales (NMP/100ml)	> 1100	> 1100	> 1100
Coliformes fecales (NMP/100ml)	< 3	< 3	< 3
<i>Escherichia coli</i> (en 100 ml)	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (en 100 ml)	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Por último, se elaboró el documento “Procedimiento de Gestión Integral de los Residuos Semisólidos Sedimentables del Laboratorio de Acuicultura” mostrado en el Anexo I de la presente tesis. El mismo, será implementado dentro de las actividades de rutina que desarrolla dicho laboratorio.

3.2. Aprovechamiento de metabolitos disueltos para el crecimiento de albahaca

En la Figura 9 se muestran las plantas de albahaca al inicio y al finalizar el bioensayo (Figura 9 a y b, respectivamente). Como se puede observar en la Tabla 4, luego de 28 días de bioensayo las plantas incrementaron diariamente su peso promedio, largo total, largo sin raíz y número de hojas en un 213,5 %, 20,45 %, 17,28 % y 13,48 %, respectivamente.



Figura 9. Crecimiento de albahaca durante el bioensayo. a) Plantines de albahaca en estado inicial de siembra; b) Plantas de albahaca sin raíz post-cosecha.

Tabla 4. Datos obtenidos en los muestreos biométricos sobre el total de los especímenes de albahaca expresados en promedio. Los valores se expresan como las medias \pm los desvíos estándar.

Muestreo	Peso (g)	LT (con raíz)	LS (sin raíz)	N° Hojas
INICIAL	0,5 \pm 0,18	9,9 \pm 2,12	5,6 \pm 1,18	4,0 \pm 0,56
FINAL	30,4 \pm 10,41	66,6 \pm 8,54	32,7 \pm 4,75	19,1 \pm 6,88

Los parámetros fisicoquímicos del agua dentro del sistema se mostraron en valores de pH de $6,98 \pm 0,16$ y temperatura de $23,06 \pm 0,98$ °C. Por otro lado, los valores de los compuestos nitrogenados observados a través de toda la duración del bioensayo se muestran en la Figura 10.

Finalmente, en el Anexo II se muestra el documento “Procedimiento Interno de Gestión para el Aprovechamiento de los Metabolitos Disueltos a través de un Sistema Acuapónico en el Laboratorio de Acuicultura”. Dicho manual, describe el protocolo a seguir para implementar el cultivo de vegetales en el módulo de acuaponia de dicho laboratorio.

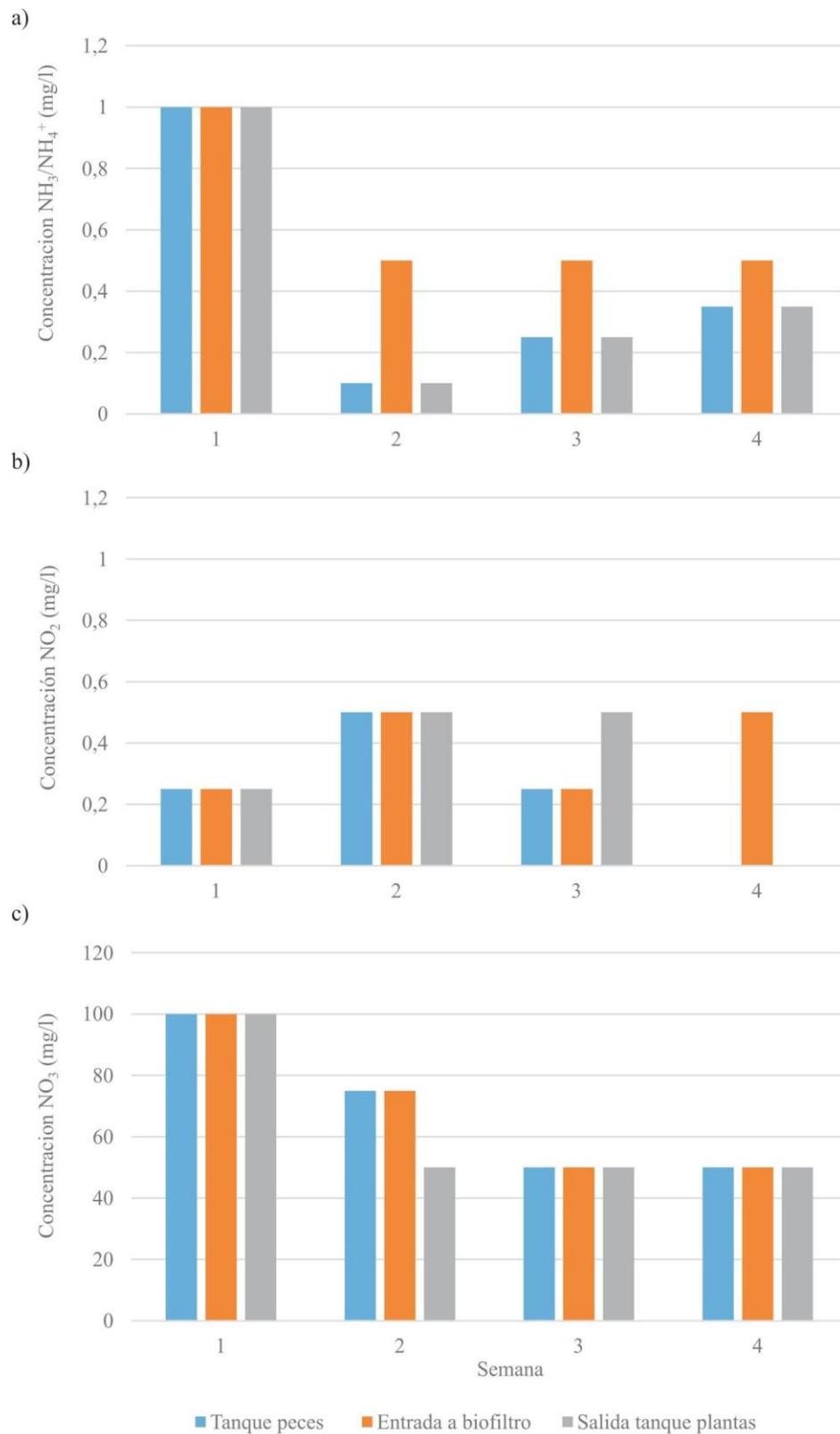


Figura 10. Comportamiento de los compuestos nitrogenados a lo largo del experimento. a) Amonio total, b) Nitritos, c) Nitratos.

4. Discusión

Actualmente la población global está creciendo a una tasa de alrededor de 1,13% por año y las Naciones Unidas estimaron que la cifra ascenderá de 7,4 mil millones en 2016 a 8,1 mil millones en 2025 (Tripathi et al., 2019). Esta expansión provoca una mayor presión en cubrir la demanda de alimentos por lo que los avances en el estudio de sistemas biointegrados para su generación y, a su vez, el aprovechamiento de los residuos semisólidos sedimentables generados por la actividad acuícola se vuelve ineludible de cara al futuro. Así, esta tesis se centró en la búsqueda de alternativas sustentables que permitan aprovechar los residuos generados durante el cultivo de peces a través de procesos simples y que agregan valor a otra actividad de relevancia como el cultivo de plantas.

Por otro lado, el sistema de consumo humano está basado en un concepto conocido como “economía lineal” que consiste en extraer, producir y desechar. En concordancia con Prieto-Sandoval (2017), si se analiza el fenómeno a escala global se observa que esta práctica se ha intensificado desde la revolución industrial del siglo XVIII ya que la productividad de las empresas y la calidad de vida de la población global se ha incrementado provocando un consecuente crecimiento en la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, lo cual amenaza la sostenibilidad de la vida de los ecosistemas naturales y, por ende, de la población humana. En este contexto y hasta el siglo XX, el sistema económico, social y ambiental se entendía en silos distanciados y sin relación, hasta que la excesiva explotación de la naturaleza empezó a afectar el desarrollo económico y social; con tierras que ya no producen como antes y comunidades que sufren enfermedades producto de la contaminación.

Afortunadamente, con el paso de los años se ha comenzado a tomar conciencia sobre cómo la sobreexplotación puede afectar al ambiente y actualmente se busca un cambio en este modelo económico que cada vez resulta menos sostenible. Al respecto, el politólogo y galardonado autor Homer-Dixon (2006) argumentó sobre la existencia de tensiones que podrían provocar un colapso catastrófico del mundo moderno. Una de las alternativas de cambio que la sociedad en su conjunto debe ensayar para aumentar la resiliencia de los sistemas socioeconómicos, evitando así su colapso, es el avance sobre la sustentabilidad ambiental mediante el rediseño de las industrias y la vida doméstica en su conjunto, bajo un sistema económico nuevo (Lett, 2014). De aquí nace el concepto de “economía circular” basado en el principio de las 3 Rs (Reducir, Reusar y Reciclar) el cual promueve minimizar el impacto provocado por las actividades humanas sobre el ambiente (Prieto-Sandoval et al., 2017; Cerdá y Khalilova, 2016). Este modelo otorga un papel dominante a los residuos y se sustenta en la reutilización del desperdicio, sea este de naturaleza orgánica o tecnológica, en un modelo cíclico que imita a la naturaleza y se conecta con ella.

En relación al gran crecimiento experimentado por la industria acuícola en el mundo y para asegurar el desarrollo sostenible de esta actividad, es necesario que su funcionamiento se centre en este paradigma; asegurando de esta manera la prosperidad económica, la protección del ambiente y la prevención de la contaminación. Consecuentemente es fundamental la gestión de los residuos generados por esta actividad. Al respecto, Guerra Moura e Silva et al. (2013) sostienen que los métodos de tratamiento de efluentes deben acompañar el crecimiento de la acuicultura, ser de bajo costo y de fácil operación y proponen algunos sistemas naturales de tratamiento de efluentes, como ser: aplicación de afluentes en los suelos por medio de irrigación; áreas anegadas naturales (pantanosas) o construidas

especialmente, tipo lagunas y acuicultura con producción de biomasa vegetal incorporada y/o animal (sistemas acuapónicos).

Así, resulta esencial dirigir los esfuerzos hacia un modelo de desarrollo circular de la actividad acuícola, trabajando en alternativas que minimicen los residuos a través de su valorización como un recurso. En este sentido, esta tesis representa una contribución a este nuevo paradigma económico, ya que valoriza dos desechos generados durante esta actividad —residuos semisólidos sedimentables y metabolitos disueltos— demostrando la factibilidad de ser utilizados durante el crecimiento de plantas (Figura 1).

En lo referido a los residuos semisólidos sedimentables (denominados RSS en la presente tesis) provenientes del cultivo de peces, la composición físico-química de los mismos tiende a ser muy variable ya que está influenciada por diversos factores, dentro de los cuales se incluyen: la especie, la talla, los sistemas de alimentación y el tipo de alimento, la dinámica del flujo de agua, los procedimientos de manejo de los residuos, y las condiciones ambientales (Naylor et al., 1999). En primera instancia, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la composición de la fracción semisólida sedimentada inicial. Los resultados obtenidos durante el análisis fisicoquímico mostraron que la mayor parte de los parámetros evaluados en este tipo de residuos orgánicos se encuentran dentro de los límites permitidos por la Resolución N° 336/03 (A.D.A., 2010) para vuelcos en cloaca; no obstante, se observó que los sólidos sedimentables a los 10 min y 2 horas superaron los límites establecidos por dicha resolución. Por este motivo, para poder continuar descargándolos en la red cloacal se deberían corregir estos parámetros para que cumplan con dicha normativa.

Cabe destacar que otra alternativa es utilizarlos como fertilizantes (abonos) para el crecimiento de plantas. Los datos obtenidos permiten corroborar su potencial, sobre todo

contemplando la carga de compuestos nitrogenados y fosforo contenidos en ellos. En este sentido, Naylor et al. (1999) propone un fin similar para los RSS provenientes de diferentes granjas de cultivo de trucha arcoíris. Como se observó en el análisis de los RSS del cultivo de tilapia del Nilo realizado en la presente tesis, estos autores también detectaron la presencia de dichos elementos ($28,3 \pm 6,6$ mg/kg de N y $25,4 \pm 12$ mg/kg de P) durante la caracterización de los residuos de trucha. Además, Naylor, et al. (1999) plantearon que tales concentraciones de N y P incluso son similares a aquellas obtenidas en desechos del mismo tipo pero provenientes de la cría de animales de granja.

Asimismo, la carga microbiológica de estos residuos resultó en que no son aptos para consumo humano en su estado de extracción inicial, lo que podría impedir que sean utilizados directamente como fertilizantes sobre alimentos vegetales. Por este motivo, se intentó a través de la utilización de un desinfectante químico, económico, fácil de adquirir y de uso común tanto en la industria como en lo doméstico, la eliminación de microorganismos patógenos pensando en su potencial uso como fertilizante para vegetales comestibles. Los resultados de dicho tratamiento indicaron que ninguna de las concentraciones de cloro utilizadas para desinfectar resultó efectiva. De todas maneras, estos resultados no descartan su utilización como fertilizantes para vegetales comestibles ya que pueden utilizarse ciertos protocolos de aplicación que evitan la contaminación de los alimentos. Por ejemplo, el Programa Nacional Orgánico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2013) dispone que este tipo de residuo podría ser utilizado como fertilizantes orgánicos respetando algunos criterios de aplicación:

- Se incorpore dentro del suelo por lo menos 120 días antes de cosechar un producto cuya parte comestible tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo.
- Se incorpore dentro del suelo por lo menos 90 días antes de cosechar un producto cuya parte comestible no tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo.

Asimismo, se ha demostrado que otra alternativa para tratar estos residuos es utilizarlos para el vermicompostaje, en el cual atraviesan un proceso de descomposición o compostaje que resulta en un abono inocuo (Birch et al, 2010). Al respecto, el sistema digestivo de la lombriz de tierra juega un papel importante, transformando los residuos orgánicos (RSS) en abonos de excelente calidad debido a los microorganismos benéficos que le aporta al suelo (Cortez et al, 2019).

No obstante, cabe resaltar que dentro del territorio nacional rige la Resolución N° 410/18 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible destinada al manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales. La misma dispone los valores de referencia que deben cumplir los residuos para poder otorgarles una utilidad o disposición final específica. De no cumplir con dichos valores, propone una serie de tratamientos para que estos residuos puedan ser considerados biosólidos y llegar a darles usos de carácter productivo sin riesgos de perjudicar la salud humana ni el ambiente. Si bien esta normativa no es específica para las actividades generadoras de efluentes cloacales como las que ocurren en el Laboratorio de Acuicultura, si se pretende enmarcar a los RSS dentro de la misma, estos quizás podrían utilizarse en las siguientes actividades: forestación y floricultura, recuperación de sitios degradados,

restauración del paisaje, elaboración de abonos o enmiendas, cierre de rellenos sanitarios y paisajismo. Sin embargo, para poder ser destinados a la mayor parte de estas utilidades es necesario que cumplan con ciertos parámetros reglamentados por dicha resolución. En esta tesis, sólo se determinó el contenido de coliformes fecales (< 3 NPM/100 ml) pero resulta dificultoso comparar este valor con el establecido por la normativa ya que en esta última reporta su concentración en peso seco (Clase A: < 1000 NPM/g; Clase B: < 2000000 NPM/g). Por otro lado, para determinar su aplicación se requeriría de la implementación de análisis adicionales detallados en el Anexo II de dicha norma, que estipula el contenido de metales pesados y la carga de ciertos patógenos como *Salmonella* que no se evaluaron en los RSS.

De todas formas, en el Anexo I se elaboró un procedimiento para la gestión de los RSS en las actividades del Laboratorio de Acuicultura. En el mismo, se plantea como debe ser su manejo integral interno en el caso de que cumplan con los estándares legales para su utilización como fertilizante. De no cumplirse, deberá evaluarse cuál es el tratamiento de estabilización y/o higienización adecuado. Una vez realizados estos estudios, se pretende utilizar estos RSS como abono orgánico para el crecimiento de las plantas cultivadas en las instalaciones del vivero Van Heden (Mar del Plata, Argentina). En este sentido, ya se estableció un primer contacto con uno de los dueños de dicho establecimiento quien se mostró muy interesado en recibir los RSS y realizar un convenio con la casa de estudios.

Por su parte, se demostró que el aprovechamiento de los metabolitos disueltos en el agua de cultivo por la albahaca fue sustancial, ya que estas plantas incrementaron su peso y su cantidad de hojas (parte comestible) a lo largo del tiempo, utilizando como sustento nutritivo los desechos metabólicos de los peces. El crecimiento alcanzado por las plantas en relación al largo total, el peso y el número de hojas fue satisfactorio comparándolo con

trabajos como el de Cabanillas et al. (2009) en el cual compararon crecimiento de albahaca en diferentes tratamientos de suelo utilizando residuos sólidos agrícolas y agroindustriales en comparación con un fertilizante químico (urea). Además, la densidad de cultivo utilizada fue superior a la empleada tradicionalmente en tierra y a la sugerida por Fuentes et al. (2000), lo que indicaría una mayor eficacia en el uso del espacio.

A partir de los resultados positivos obtenidos durante el experimento de crecimiento, se elaboró el documento “Procedimiento Interno de Gestión para el Aprovechamiento de los Metabolitos Disueltos a través de un Sistema Acuapónico en el Laboratorio de Acuicultura” (Anexo II). El mismo, pretende servir de guía para poder ser implementado por los/las integrantes del grupo de investigación con el fin de llevar a cabo una producción sustentable de alimentos, tanto animal como vegetal. Además, la continuidad de este sistema en el laboratorio será de utilidad para visibilizar este modelo de producción a la comunidad educativa y a los visitantes.

Por otro lado, es necesario considerar que el proceso principal de un RAS es la nitrificación o filtración biológica, que se define como la conversión de compuestos orgánicos nitrogenados a nitrato, realizada principalmente por bacterias de los géneros *Nitrosomonas* sp y *Nitrobacter* sp. (Figura 11). Los diferentes pasos en este proceso se llaman colectivamente ciclo del nitrógeno y es de gran importancia en los cultivos de organismos acuáticos porque transforma el amoníaco, un desecho metabólico altamente tóxico, en nitrito, que es un tanto menos tóxico que el amoníaco y a este en nitrato que es considerado relativamente no tóxico para la mayoría de los organismos acuáticos (Ugalde, 2013).

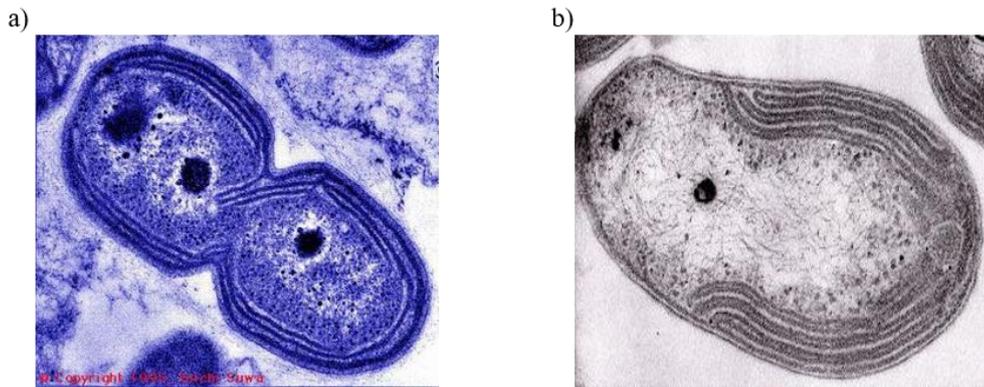


Figura 11. a) *Nitrosomonas* sp.; b) *Nitrobacter* sp. (Fuente: Losada Morales, 2014)

Durante el experimento los compuestos nitrogenados dentro del sistema acuapónico mostraron variaciones a lo largo del tiempo pudiendo deberse a la acción de las bacterias presentes en el filtro biológico del RAS y a las plantas que, a lo largo de su crecimiento, fueron utilizando estos compuestos, en especial el nitrato como nutriente. En particular los nitritos no mostraron disminución de su concentración a lo largo del tiempo, lo cual podría deberse a que el grupo de bacterias (*Nitrobacter* sp.) destinadas a la transformación de esta forma nitrogenada a nitrato no fue lo suficientemente eficaz. Usualmente se diferencian cinco fases en la vida de un filtro biológico: ausencia de nitrificación (alta concentración de amonio), activación (alta concentración de nitritos), madurez, senilidad e inactivación (Puigcerver y Tort, 1997). Consecuentemente, el filtro biológico del sistema todavía estaba en fase de activación cuando se realizó el bioensayo, lo que podría explicar la elevada concentración de nitritos. Sin embargo, esta ineficiencia de transformación no ha sido lo suficientemente elevada como para impedir el crecimiento de las plantas y afectar la supervivencia de los peces.

Para finalizar, a través de la valorización de los residuos para la generación de insumos utilizables en otras actividades productivas, este trabajo contribuye con el desarrollo

de medidas que ayudarían a mitigar los riesgos e impactos ambientales generados por la actividad acuícola intensiva. Además, los resultados obtenidos permitirán implementar a nivel institucional nuevas prácticas que otorgarían valor a los RSS, evitando que estos sean depositados en la red cloacal, y a su vez mejoraría la eficiencia en el uso del agua en el Laboratorio de Acuicultura, ya que reducirían los recambios realizados en los RAS. Además, estas alternativas, podrán ser adaptadas y utilizadas por otros laboratorios de acuicultura o granjas piscícolas en general para mejorar el desempeño ambiental dentro de esta actividad industrial.

5. Conclusión

Los residuos sólidos sedimentables desechados por los sistemas de recirculación de agua que se utilizan en los cultivos de peces poseen, entre otros elementos, un alto contenido de nitrógeno y fósforo que le otorgan potencial para poder utilizarlos como fertilizantes en el crecimiento de plantas. Sin embargo, aún se requieren análisis químicos y microbiológicos adicionales para poder asegurar que los mismos no causen daños sanitarios y ambientales. Por su parte los metabolitos disueltos en el agua de los cultivos acuícolas pueden ser aprovechados para el crecimiento de hortalizas mediante la utilización de sistemas biointegrados, dando valor a estos residuos. La búsqueda de alternativas para el aprovechamiento de los residuos generados por las actividades industriales en general, resulta de vital importancia si se intenta cumplir con el objetivo mundial de alcanzar el desarrollo sostenible y se vuelve imprescindible el rol de las instituciones y de las personas formadas en gestión ambiental para lograr este fin común. Es así que la incorporación de estrategias de gestión ambiental para los residuos generados en el Laboratorio de Acuicultura (FRMdP-UTN) resultó muy satisfactoria, mostrando resultados alentadores para el tratamiento y

revalorización de los residuos que podrían ser adaptados a escalas mayores para la producción de alimentos pensándose dentro del nuevo paradigma de la economía circular.

Referencias Bibliográficas

- A.D.A. (2010). Resolución 336/03, modificatoria de la similar N°389/98. Autoridad del agua de la provincia de Buenos Aires (Argentina) 15 de octubre, 2010. Anexo II, Parámetros de Calidad de las descargas límite admisible.
- AOAC (1995). Official Methods of Analysis, Edición N° 16, AOAC International, Washington.
- Barnabé, G. (1991). Acuicultura. Volumen I. Ediciones Omega, Barcelona, pp. 478.
- Birch, S., Bell, R., Nair, J. y Cao, P. V. (2010). Feasibility of vermicomposting of aquaculture solid waste on the Mekong Delta, Vietnam: A pilot study. Global Science Books, Ltd. 127-134
- Cabanillas, C., Ledesma, A. y Stobbia, D. (2009). Residuos sólidos agropecuarios y agroindustriales reutilizados como biofertilizantes alternativos a la aplicación de urea en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) variedad Catamarca INTA (Hoja Ancha). Anais de Eventos da UFscar, 5: 149.
- Caló, P. (2011). Introducción a la Acuaponia. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola-CENADAC. Dirección de Acuicultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/06_publicaciones/_archivos/130423_introducci%C3
- Campos-Pulido, R., Alonso-López, A., Avalos-de la Cruz, D. A., Asiain-Hoyos, A., y Reta-Mendiola, J. L. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4 (spe5): 939-950.
- Cerdá, E. y Khalilova, A. (2016). Economía circular. Econ Ind, 401: 11-20.

- Colorado, F., Montañez, I., Bolaños, C., y Rey, J. (2013). Crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo cubierta en la Sabana de Bogotá. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 16 (1): 121-129.
- Cortés Mayorga, J. S. y Méndez López, C. A. (2019). Propuesta para el aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes del cultivo de trucha arcoíris mediante la técnica de vermicompostaje para la obtención de abono orgánico. Universidad de La Salle, Colombia. Pp: 138
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., y Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270 (1), 1-14.
- El-Sayed, A.-F.M., 2006. Tilapia culture. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxfordshire, pp. 277.
- FAO, 2009. *Oncorhynchus mykiss*. Cultured aquatic species fact sheets. http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rainbowtrout.htm (accessed 9.6.19).
- FAO (2010). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2010. Fisheries and Aquaculture Department, UN Food and Agriculture Organization, Rome, 219 pp.
- FAO (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Food and Agriculture Organization of United Nations, Roma. 224 pp.
- FAO (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018 (SOFIA). Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Food and Agriculture Organization of United Nations, Roma. 250 pp

- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y acuicultura 2020 (SOFIA): La sostenibilidad en acción. Food and Agriculture Organization of United Nations, Roma. 224 pp
- FONDEF (2003). Residuos acuícolas ideales para fertilizar el campo. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica Chile (CONICYT). <http://www.conicyt.cl/fondef/2003/01/20/residuos-acuicolas-ideales-para-fertilizar-el-campo/>
- Friedlander, M. (2018). Aquídar, el único emprendimiento de acuaponia que ofrece vegetales y peces en Argentina. Infocampo. <http://www.infocampo.com.ar/aquidar-el-unico-emprendimiento-de-acuaponia-que-ofrece-vegetales-y-peces-en-argentina/>
- Fuentes Fiallo, V. R., Lemes Hernández, C. M., Rodríguez Ferradá, C. A. y Germosén-Robineau, L. (2000). Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales. Tomo II. Editorial Centenario, S.A., Santo Domingo, República Dominicana. pp.197
- Guerra Moura e Silva, M. S., Losekann, M. E., e Hisano, H. (2013). Acuicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. Embrapa Meio Ambiente. 39 pp.
- Homer-Dixon, T. (2006). The upside of down: catastrophe, creativity, and the renewal of civilization. Island Press, Washington DC.448 pp.
- Lett, L.A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. Revista Argentina de Microbiología 46: 1–2.
- Lozada Morales, M. (2014) Evaluación del nitrógeno en sus diferentes formas y su relación con las bacterias nitrificantes en el Lago de Xochimilco. Tesis de grado Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 101pp

- Muir, J. F. (1982). Economic aspects of waste treatment in fish culture. En: J. S. Alabaster, (edito), Report of the EIFAC workshop on fish-farm effluents. EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Commission) Technical Paper 41. Páginas 123–135.
- Miller, D., y Semmens, K. (2002). Waste Management in Aquaculture. Best management practices to reduce aquaculture wastes. *Aquaculture Information Series*.
- Naylor, S. J., Moccia, R. D. y Durant, G. M. (1999). The chemical composition of settleable solid fish waste (manure) from commercial rainbow trout farms in Ontario, Canada. *North American Journal of Aquaculture*, 61(1): 21-26.
- Olson, G. L. 1992. The use of trout manure as a fertilizer for Idaho crops. Páginas 198–205.
- Panné Huidobro, S. (2016). Producción por Acuicultura en Argentina en el 2016. Dir. Acuic. Subsec. Pesca Acuic. Minist. Agroind. URL <https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/>
- Papoutsoglou, S. (1991). Impact of aquaculture on the aquatic environment in relation to applied production systems. En: De Pauw, N., Joyce, J. (eds.). *Aquaculture and Environment*. Dublin, Ireland. European Aquaculture Society Spec Publ; 16: 71-78.
- Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, Watson R. y Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418 (6898): 689.
- Piedrahita, R. (2003). Reducing the potencial environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226 (1-4): 35-44.

- Prieto-Sandoval, V., Jaca-García, C., y Ormazabal-Goenaga, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, núm. 15. Pp 10 (85-95).
- Puigcerver, M., y Tort, L. (1997). Evaluación de dos medios bacterianos aceleradores del proceso de nitrificación en filtros biológicos de cultivos marinos. *Orsis: organismes i sistemes*, 7-14.
- Randall, D. J., y Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine pollution bulletin*, 45 (1-12), 17-23.
- Resolución N° 410/18. (2018) “Manejo Sustentable de Barros y Biosólidos Generados en Plantas Depuradoras de Efluentes Líquidos Cloacales y Mixtos Cloacales-Industriales”. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Argentina.
- Resolución de la Autoridad del Agua (A.D.A.) N° 336/03. (2010). Parámetros de descarga admisibles. Buenos Aires, Argentina.
- Solimano, P.J. (2013). Desarrollo de un sistema de cría semi-intensiva para producción de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) en jaulas flotantes (Doctoral). Universidad Nacional de la Plata.
- SM (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. AWWA, APHA, WEF. Edición N° 22.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., y Schmidt, U. (2016). Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agricultural water management*, 178, 335-344.

- Tacon, A. (1995). Application of nutrient requirement data under practical conditions: special problems of intensive and semi-intensive fish farming systems. *Journal of Applied Ichthyology*, 11: 205–214. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1995.tb00020.x>
- Thorpe, J. E., y Cho, C. Y. (1995). Minimising waste through bioenergetically and behaviourally based feeding strategies. *Water Science and Technology* 31:29–40.
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2007). *Recirculating Aquaculture: Cayuga Aqua Ventures, LLC*. pp 975.
- Torres-Novoa, D.M. y Hurtado-Nery V. L. (2012). Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) nutritional requirements. *Orinoquia*, 16 (1): 63-68.
- Tripathi, A.D., Mishra, R., Maurya, K.K., Singh, R.B. y Wilson, D.W. (2019). Estimates for World Population and Global Food Availability for Global Health, en: *The Role of Functional Food Security in Global Health*. Elsevier, pp. 3–24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00001-3>
- Ugalde, R. E. (2013). Sistemas de Recirculación de Agua para la Acuicultura en el estado de Hidalgo. Memoria de ponencias Think Green 2013: Crecimiento verde, retos y oportunidades para México. pp 15.
- USDA (2013). Reglamentos Orgánicos Estadounidenses, Actualizados al 3 de diciembre de 2013. 7 CFR parte 205 – Programa Orgánico Nacional. USDA-AMS National Organic Program. 80 pp.
- Vezzulli, L., Moreno, M., Marin, V., Pezzati, E., Bartoli, M., y Fabiano, M. (2008). Organic waste impact of capture-based Atlantic bluefin tuna aquaculture at an exposed site in the Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(2), 369-384.

Vinatea, A. L. A. (1999). *Aqüicultura e desenvolvimento sustentável: Subsídios para a formulação de políticas de desenvolvimento da aqüicultura brasileira*. Florianópolis: Editora da UFSC.

ANEXO I. Procedimiento de Gestión Integral de los Residuos Semisólidos

Sedimentables del Laboratorio de Acuicultura

Introducción

En el Laboratorio de Acuicultura perteneciente a la Facultad Regional Mar del Plata de la Universidad Tecnológica Nacional (FRMdP-UTN) se realizan operaciones de cultivo de peces que continuamente generan Residuos Semisólidos Sedimentables (RSS) provenientes de las heces y restos de alimento no ingerido. El presente documento pretende hacer factible la reutilización de los RSS de dicho Laboratorio de Acuicultura mediante la implementación de un procedimiento interno de gestión integral de los RSS el cual comprende las operaciones de captación, almacenamiento y disposición final de los mismos.

Diariamente se generan alrededor de 500 l de este tipo de residuos fruto de la limpieza de los sistemas de recirculación de agua donde se crían peces, que actualmente son desechados a la red cloacal. Mediante el análisis fisicoquímico de los RSS se estimó que el contenido de nitrógeno y fósforo total que presentan es de 65 y 7,7 mg/l, respectivamente. En consecuencia, surge la posibilidad de poder aprovecharlos como fertilizante (abono) de suelos. Así, la gestión integral de los RSS comprende las operaciones de captación, almacenamiento y traslado a su sitio de disposición final para ser utilizados como fertilizantes.

Objetivo

El objetivo central del presente documento es otorgar valor a los Residuos Semisólidos Sedimentables (RSS) generados durante el cultivo de peces en el Laboratorio de Acuicultura (Facultad Regional Mar del Plata, UTN) para evitar su descarga a la red cloacal

y así, minimizar el posible impacto ambiental que esto pueda generar. Para ello el procedimiento descrito en este documento incluye los siguientes objetivos específicos:

1. Contribuir a mejorar el desempeño ambiental de dicho Laboratorio.
2. Concientizar a la comunidad universitaria y visitantes de las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura acerca de la responsabilidad de gestionar ambientalmente los residuos.
3. Informar a los/las trabajadores/as del Laboratorio de Acuicultura acerca de los procedimientos que deben utilizarse para realizar las operaciones de captación, almacenamiento y traslado de los RSS al punto de disposición final.
4. Identificar las tareas asignadas a las personas implicadas en el proceso de gestión de los RSS.

Origen del residuo

Dentro del Laboratorio de Acuicultura de la FRMdp-UTN se generan aproximadamente 500 litros diarios de RSS que surgen de la limpieza rutinaria de los sistemas de recirculación de agua en los que se cultiva peces que presentan una elevada carga de compuestos orgánicos y microorganismos que pueden ser peligrosos tanto para la salud humana como para el ambiente. Por este motivo es importante el compromiso para su gestión integral.

El Laboratorio de Acuicultura deberá tener una persona de contacto que será la responsable de los RSS generados en el mismo, a la que poder recurrir en caso de cualquier duda surgida durante la gestión de los mismos. El Director del Laboratorio de Acuicultura se encargará de elegir a dicho responsable e informar a todo el personal que trabaja en el lugar acerca de las novedades referidas a la gestión de los RSS.

Captación y transporte interno de los RSS

La persona responsable de los RSS llevará a cabo la captación y transporte de los mismos hacia el depósito temporal o, en su defecto, se encargará de supervisar a quien realice este trabajo.

La captación se realizará a partir de la purga, a través de una llave esférica, de los filtros “sedimentadores” que poseen los sistemas de recirculación de agua y que cumplen la función de almacenar los RSS. Estos residuos se dispondrán en bidones plásticos de 10 l de capacidad para luego ser temporalmente almacenados.

El responsable de los RSS deberá asegurarse de:

- Que el personal que capta y transporta los residuos tenga suficiente información en materia de prevención de riesgos para desarrollar dicha actividad, de tal forma que responda adecuadamente durante una contingencia o un posible accidente de derrame con este tipo de residuos.
- Que disponga de material de seguridad adecuado (guantes de latex, tapaboca, lentes y botas de goma) en función del tipo de residuos.

En cuanto al traslado de los residuos hasta el almacén temporal se deberán realizar las siguientes tareas:

- Constatar la disponibilidad de lugar en el almacén de acopio previo al traslado de los residuos.
- Comprobar que los envases de residuos estén identificados con su etiqueta y numeración.
- Comprobar la seguridad de los envases a trasladar.

- El traslado de los residuos desde su punto de generación hasta su colocación en el interior del almacén temporal debe realizarse siguiendo una ruta de retirada, que evitará el paso por áreas muy concurridas, a fin de impedir posibles accidentes en el trayecto hasta la zona de almacenamiento temporal.

Para el transporte estará disponible un carrito de retirada específico para este tipo de residuos que facilitará el trabajo.

Etiquetado y almacenado de los RSS

Los recipientes cargados de RSS, provenientes de la etapa de captación serán vertidos en bidones plásticos de 50 l de capacidad para mantenerse almacenados temporalmente, durante periodos no mayores a los 7 días desde el momento de su envasado. Con este fin se dispondrá dentro del Laboratorio de Acuicultura un espacio de 3x2 m² para el almacenado de los RSS. Estos recipientes estarán etiquetados de manera visible para evitar problemas durante el proceso.

En cada etiqueta (figura I) figurarán impresos los siguientes datos:

- Código de identificación de los residuos que contienen.
- Los riesgos específicos.
- Los consejos de prudencia.

Adicionalmente, el responsable de los RSS deberá añadir a la información contenida en cada etiqueta:

- Nombre y teléfono de la persona responsable del residuo.
- Fecha de envasado.

RESIDUOS SEMISÓLIDOS SEDIMENTABLES		UTN UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Código: _____ Fecha de envasado (dd/mm/aa): _____	Consejos de prudencia: <ul style="list-style-type: none"> • No manipular sin elementos de seguridad personal (guantes, lentes y tapabocas) • Manejar con precaución para evitar vuelcos • No almacenar por más de 7 días desde el momento de su envasado • No apilar recipientes 	
Responsable del residuo Nombre: _____ Teléfono: _____		
Importante: Residuo de origen orgánico. Contiene microorganismos patógenos (bacterias aerobias mesófilas, coliformes totales y coliformes fecales). Desde el aspecto microbiológico, el CAA los establece NO APTOS para consumo humano.		

Figura 1: Modelo de la etiqueta que se utilizara para rotular los recipientes contenedores de RSS.

El vertido de los residuos en los envases se realizará de forma lenta y controlada evitando posibles vuelcos. Los envases no se llenarán más del 80% de su capacidad, aproximadamente. Los envases deberán permanecer siempre cerrados y sólo se abrirán el tiempo imprescindible para introducir algún residuo. Los residuos permanecerán en el lugar designado dentro del laboratorio, preferentemente en el suelo y sobre recipientes apropiados (cubetos, bandejas, etc.). Se situarán en lugares que no sean de paso para evitar tropezones, y alejados de cualquier fuente de calor.

Se recomienda el uso de bidones de 50 l al objeto de optimizar la capacidad del almacén temporal.

Transporte y disposición final de los RSS

Para la disposición final de los RSS se coordinó con la empresa “Vivero Van Heden” (Ruta 88 Km 23, Mar del Plata) quien se responsabilizará de los mismos una vez que ingresen

a su predio. El transporte hacia dicho lugar será semanal y será tercerizado a una empresa que se encargue del transporte de este tipo de residuos. Para esto, el responsable de los RSS coordinará la retirada de los residuos, manteniendo el contacto con la empresa gestora de la recogida y con el encargado del sitio de disposición final.

Para la correcta organización de la recogida de los residuos se requiere que la empresa gestora conozca anticipadamente el volumen y tipo de residuos que debe recoger, así como la cantidad de envases y etiquetas que tiene que proporcionar en cada visita. Para ello, el Responsable de los RSS brindará con antelación esa información.

Para facilitar las maniobras del vehículo de la empresa recolectora de residuos, el responsable de los RSS enviará un correo electrónico a la Seguridad de la FRMdp-UTN el día anterior a la recogida, solicitando la apertura del Estacionamiento Trasero de dicha institución.

ANEXO II. Procedimiento Interno de Gestión para el Aprovechamiento de los Metabolitos Disueltos a través de un Sistema Acuapónico en el Laboratorio de Acuicultura

Introducción

En el Laboratorio de Acuicultura perteneciente a la Facultad Regional Mar del Plata de la Universidad Tecnológica Nacional (FRMdp-UTN) se realizan operaciones de cultivo de peces en sistemas de recirculación de agua. En dichos sistemas se hace necesario el recambio de agua para mantener los compuestos nitrogenados en niveles no tóxicos para los peces. El origen de estos compuestos se debe a las excreciones en forma de amoníaco de los organismos en cultivo. Como el amoníaco es la forma nitrogenada más tóxica para los peces, dentro de un filtro biológico ubicado en el mismo sistema se realiza el proceso de nitrificación donde se obtiene como compuesto final nitrato, que resulta menos nocivo para los peces. Este metabolito permanece disuelto en el agua de cultivo hasta que se realiza un recambio o bien, se extrae mediante vegetales que los aprovechan para su crecimiento. A este último sistema de producción biointegrado se lo conoce como acuaponía, donde se complementa un sistema hidropónico de cultivo de vegetales en agua con un cultivo acuícola de producción de animales acuáticos.

En ausencia de una producción hidropónica asociada, los recambios de agua para disminuir la toxicidad de los metabolitos disueltos (MD) dentro de los sistemas de recirculación de agua se realizan cada un periodo de 20 días, en los cuales se llega a renovar hasta el 50 % del volumen total de los mismos, lo que equivale dentro de este Laboratorio de Acuicultura a 15.000 l de agua. Particularmente el área de invernadero del Laboratorio de

Acuicultura cuenta con un sistema de recirculación de agua para el cultivo de peces de 4000 l de volumen total de los cuales el 50 % se renuevan periódicamente.

Objetivo

El objetivo central del presente documento es estandarizar la metodología para poner en funcionamiento un sistema acuapónico que permita aprovechar los metabolitos disueltos (MD) generados durante el cultivo de peces en el Laboratorio de Acuicultura (Facultad Regional Mar del Plata, UTN). Esto contribuiría a evitar los recambios de agua por riesgo de toxicidad, promoviendo el uso sustentable del recurso hídrico que es de vital importancia. Para ello el procedimiento descrito en este documento incluye los siguientes objetivos específicos:

1. Contribuir a mejorar el desempeño ambiental de dicho Laboratorio.
2. Concientizar a la comunidad universitaria y visitantes de las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura acerca de la responsabilidad de gestionar ambientalmente el recurso hídrico y la producción sustentable de alimentos.
3. Informar a los/las trabajadores/as del Laboratorio de Acuicultura los procedimientos que deben utilizarse para realizar las operaciones que ponen a punto un Sistema Acuaponico
4. Identificar las tareas asignadas a las personas implicadas en el proceso de gestión del recurso hídrico.

Origen de los metabolitos disueltos (MD)

Los MD surgen principalmente de las excreciones que realizan los peces a través de las branquias y orina que son liberados al medio acuático en el cual se cultivan. Esto es un

problema ya que los MD, principalmente aquellos correspondientes a los compuestos nitrogenados, son nocivos para estos organismos. Por este motivo, no hay que dejar que se concentren en cantidades tóxicas dentro de los sistemas de recirculación de agua que se utilizan en el Laboratorio de Acuicultura.

Aprovechamiento de MD para el crecimiento de vegetales

Para el aprovechamiento de los MD se estandariza el diseño de un sistema biointegrado acuapónico que anexa el cultivo de vegetales en agua con los cultivos de peces que se desarrollan en el Laboratorio de Acuicultura. De esta manera, los MD son extraídos del agua de cultivo a través de las raíces de las plantas y utilizados por las mismas para su crecimiento. Esto permite controlar la concentración de compuestos tóxicos para los peces dentro de los sistemas de recirculación de agua evitando los recambios de grandes volúmenes de este recurso.

Estandarización del sistema acuapónico

Para el Laboratorio de Acuicultura (FRMdP-UTN) se propone el diseño de un sistema acuapónico de tipo de *Balsas flotantes* como el descrito en la tesis adjunta y el tipo de NFT (del inglés Nutrient Film Technique) que es un método que se utiliza de forma corriente en hidroponía. En este sistema las raíces de las plantas se mantienen en contacto con una muy delgada película de agua que contiene los nutrientes que circula dentro de caños de PVC.

Premisas para el diseño de un sistema acuapónico

Para el correcto balance entre la generación de desechos por parte de los peces, el aprovechamiento de estos por vegetales y el correcto funcionamiento del sistema en general se estima que:

- La recirculación del volumen total del sistema se debe realizar como máximo cada una hora.
- Por cada 60-100 gramos de alimento suministrado a los peces se podrá anexar 1 m² de balsas para el cultivo hidropónico.
- Por cada 1 m² de balsa se podrá producir como máximo 25 unidades de vegetales.
- Para el diseño de la pileta contenedora de la hidroponía se recomienda tener en cuenta el espacio disponible y la cantidad máxima de alimento que podrá destinarse al tanque de peces para seguir la relación antes mencionada.
- Para la técnica hidropónica de balsas flotantes se requieren planchas de poliestireno expandido de 1 m² con 25 orificios equidistantes de 1,5” de diámetro para la ubicación de los vegetales.
- Para la técnica de NFT se requieren caños de 110 mm de diámetro con agujeros equidistantes de 3,8 cm de diámetro para la ubicación de los vegetales que tendrán un mínimo de acercamiento unos de otros de 20 cm.

Mantenimiento del sistema

Para la mantención del sistema, de sus componentes y del funcionamiento general del mismo, es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Es necesario realizar controles diarios del comportamiento de los factores fisicoquímicos en especial el pH, temperatura y oxígeno disuelto; así como chequeos semanales de los compuestos nitrogenados presentes en el agua. Esto se puede realizar a partir de la utilización del instrumental digital con el que cuenta el

Laboratorio de Acuicultura o en su defecto con kit de fisicoquímicos, fácilmente adquiridos en tiendas o negocios de acuarismo.

- Las tuberías del sistema deben revisarse y repararse en caso de poseer bloqueos, la periodicidad es dependiente de la utilización de las mismas. Es necesario a la hora de la planeación del sistema, tener en cuenta la ubicación de válvulas y de zonas que puedan ser desarmadas para poderles realizar su mantenimiento.
- En cuanto a la bomba centrífuga que genera la recirculación del agua y la bomba aireadora que inyecta aire al sistema, la principal actividad de mantenimiento es mantener limpias sus partes y, en el caso de las bombas, mantenerlas libres de residuos que queden atrapados dentro de los filtros.
- También es necesario revisar constantemente si las plantas o los peces presentan síntomas de ataques de parásitos o enfermedades, por esto es imprescindible que las personas que están a cargo de los sistemas posean conocimientos de ambos organismos.

Las tareas mencionadas estarán a cargo de una persona que será nombrada por el Director del Laboratorio de Acuicultura como Responsable del Sistema Acuapónico.