



Universidad
Católica del Norte

N°6
2020

Programa de Mejoramiento
Institucional en Recursos Hídricos

BOLETÍN VIGILANCIA TECNOLÓGICA

SOLUCIONES NUTRITIVAS RESIDUALES DE HIDROPONÍA Y
ACUAPONÍA COMO ESTRATEGIA DE MANEJO PRODUCTIVO



Dirección de Innovación y
Transferencia Tecnológica

Vigilancia Tecnológica ¿Qué es?



La vigilancia tecnológica (VT) es una de las herramientas de los sistemas de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (I+D+i), esta herramienta de manera sistemática detecta, analiza, difunde, comunica y explota las informaciones técnicas útiles para la organización, su propósito es alertar sobre las innovaciones científicas y técnicas susceptibles de crear oportunidades y amenazas para la misma. (UNE 166006 EX, 2006).

A nivel mundial la VT es una herramienta muy utilizada por organizaciones independientes, privadas y/o estatales que dentro de su funcionamiento tengan integrado un sistema de gestión I+D+i y/o realicen proyectos de I+D+i.

Programa de Mejoramiento Institucional en Recursos Hídricos UCN 1795

El Programa de Mejoramiento Institucional PMI en Recursos Hídricos 1795 busca dar continuidad y sustentabilidad en el tiempo a los Programas priorizados por el PMI UCN1302, consolidando competencias y capacidades en torno a un recurso estratégico, como lo es el recurso hídrico en la Región de Antofagasta.

La propuesta de trabajo se orienta a fortalecer la articulación académica y la vinculación con el medio, trabajando articuladamente con la industria y los servicios públicos, con la finalidad de fortalecer las líneas de investigación en recursos hídricos, a través del desarrollo de I+D+i y la formación de cursos de capacitación y postgrado.

Índice de Contenidos

Introducción.....	4
Publicaciones científicas.....	6
Patentes.....	9
Patentes en Chile.....	14
Referencias.....	15

Soluciones nutritivas residuales de hidroponía y acuaponía como estrategia de manejo productivo.

Una de las referencias clásicas para el estudio y manejo de cultivos hidropónicos, Resh, H. (2001), recomienda cambiar la solución nutritiva de sistemas hidropónicos después de 2 ó 3 semanas de uso. Solo en el caso de contar con análisis semanales, es recomendable cambiar la solución nutritiva cada 2 meses como máximo según los resultados obtenidos. Esto se debe al deterioro de la calidad del agua asociado a niveles tóxicos de Zn y Cu provenientes de impurezas de fertilizantes, aumento de la CE y de pH, generados tanto por el consumo de agua por parte del cultivo, como también por la absorción de nutrientes (Resh, 2001). Además, en sistemas hidropónicos cerrados, las raíces liberan sustancias denominadas exudados que se acumulan en la solución nutritiva provocando un efecto alelopático o autotóxico (Lee *et al.*, 2006), ya que actúan como inhibidores del crecimiento vegetal (Asao *et al.*, 2007). Estos corresponden a ácidos orgánicos como el ácido ftálico, ácido palmítico y ácido esteárico, entre otros, siendo el ácido benzóico una de las principales causas de inhibición del crecimiento en cultivos de frutillas (Kitazawa *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2006). Por otra parte, la descarga o el uso para riego agrícola de la solución nutritiva que deja de utilizarse, posee altos niveles de nitrato y fosfato, representando un riesgo de contaminación para cuerpos de agua subterráneos o sistemas acuáticos superficiales (Castellar *et al.*, 2019).

La remoción de ácidos orgánicos, nitrato y fosfato se ha podido resolver incorporando sistemas de tratamiento convencional como filtros de carbón activado, osmosis inversa, sistemas de intercambio iónico con resina de base débil o aplicación de ozono como radical libre que permite oxidar este tipo de compuestos (Hosseinzadeh *et al.*, 2017), permitiendo ampliar la vida útil del agua de descarte y/o disminuir el impacto negativo sobre ambientes acuáticos. Sin embargo, estas tecnologías poseen altos costos de mantenimiento y operación, y en algunos casos, se obtienen efluentes residuales concentrados. Como métodos alternativos, se han realizado ensayos en sistemas de acuaponía inoculando microalgas y consorcios microbianos en aguas residuales de hidroponía que han logrado remover cantidades significativas de nitrato y fosfato (Park *et al.*, 2015).

En sistemas de acuaponía, la solución nutritiva es recirculada hacia estanques de crianza de peces, esta técnica combina de forma sinérgica la producción simultánea de plantas en sistemas hidropónicos y acuicultura para propósitos comerciales, domésticos, ornamentales o educativos (Rakocy *et al.*, 2006). Estos sistemas se caracterizan por ser altamente eficientes en el uso del agua y por generar menores volúmenes de descarte (Trang y Brix, 2012). Uno de los desafíos de la acuaponía, es encontrar la combinación adecuada entre peces y plantas adaptadas a las condiciones locales, capaces de no comprometer de forma negativa el rendimiento (Knaus y Palm, 2017; Suhl *et al.*, 2016). En Europa, las principales especies de peces utilizados en acuaponía son *Oreochromis niloticus* (Tilapia), *Ictalurus punctatus* (Pez gato africano), especies ornamentales y *Oncorhynchus mykiss* (Trucha). En cuanto a cultivos vegetales se cultivan hierbas aromáticas, lechuga y tomate (Villarreal *et al.*, 2016).

Se ha identificado que la presencia de exudados de raíces (ácidos orgánicos) en sistemas de producción de peces, permite mejorar la actividad de enzimas digestivas, mejorando la absorción de nutrientes (Castillo *et al.*, 2014). No obstante, es necesario estudiar el efecto específico de ácidos como el benzóico. Mientras que, las excreciones de peces permiten suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de especies vegetales (Rakocy *et al.*, 2006). En este ámbito, otro aspecto a optimizar es la mantención de los niveles adecuados de

hierro (Fe), ya que el contenido presente en las excretas de peces no es suficiente para mantener los niveles adecuados para la hidroponía (Roosta y Mohsenian, 2012).

Las principales fuentes de Fe utilizados en hidroponía y acuaponía corresponden a quelatos sintéticos como el EDTA, HEDTA, EDDS, que estabilizan los iones metálicos protegiéndolos de la oxidación y precipitación. Sin embargo, son sensibles a la degradación por exposición a la luz ambiental (Kasozi *et al.*, 2019). Los quelatos con compuestos orgánicos son más estables en sistemas hidropónicos, los agentes quelantes pueden aminoácidos como arginina, glicina e histidina, los cuales incrementan su fitodisponibilidad y no son sensibles a la fotodegradación. Además, se han reportado efectos positivos asociados a su aplicación como una mayor acumulación de potasio en brotes de tomate y un incremento de la tolerancia al estrés salino, mejorando el crecimiento vegetal en comparación con la aplicación de EDTA (Ghasemi *et al.*, 2014). Otro modo de mejorar la biodisponibilidad de Fe en sistemas de acuaponía, es la aplicación de ácido fúlvico, que permite evitar la precipitación y mejorar su asimilación (Da Silva, 2020).

En base a información obtenida desde la plataforma Scopus, respecto al número de publicaciones por año entre 2016 y 2020 asociadas a acuaponía, se observa un aumento sostenido entre los cuatro primeros años, disminuyendo en 2020, lo cual se puede explicar por ser reportes correspondientes solo al primer semestre de este año.

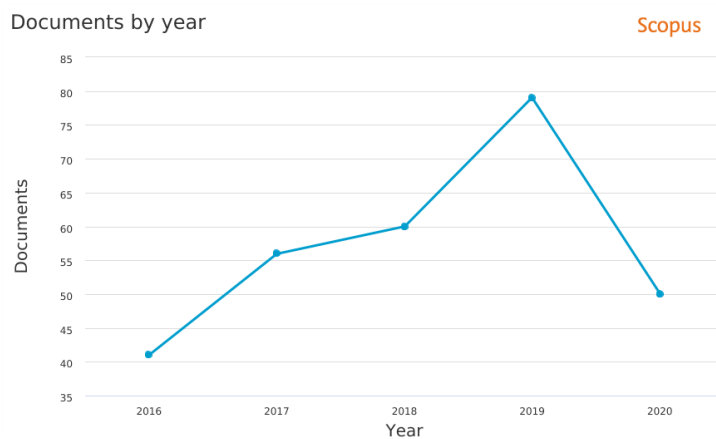


Figura 1. Número de publicaciones por año asociadas a acuaponía entre 2016 - 2020.

Los países que lideran este ámbito de investigación, por el número de publicaciones durante este periodo son Estados Unidos, Alemania, Indonesia, China, India e Italia.

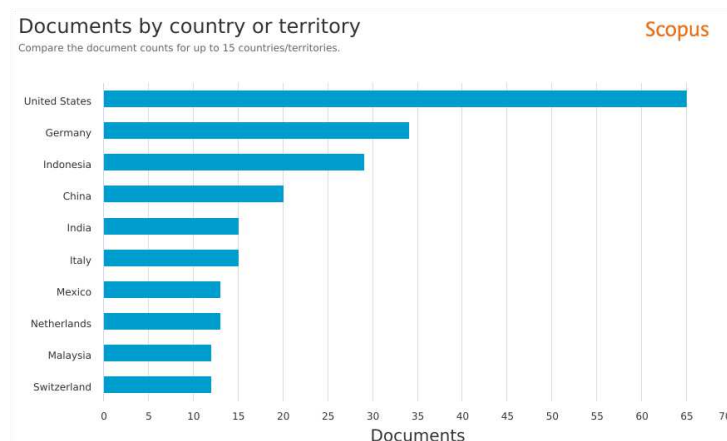


Figura 2. Número de publicaciones por país asociadas a acuaponía entre 2016 - 2020.

Reutilización de agua en sistemas hidropónicos cerrados: Comparación de un filtro de carbón activado, intercambio iónico y proceso de aplicación de ozono para el tratamiento de solución nutritiva reciclada. (Publicado en julio de 2017)

En este estudio, se investigó la remoción de exudados de raíces desde la solución nutritiva reciclada en sistemas hidropónicos mediante diferentes alternativas de tratamiento. En particular, se evaluó el desempeño de un filtro de carbón activado, intercambio iónico (usando la resina Amberlite IRA96) y aplicación de ozono. La caracterización de la solución nutritiva reciclada de un sistema hidropónico de producción de lechuga identificó diversos ácidos orgánicos como ácido benzoico, maléico, palmítico, esteárico, ftálico, succínico, acrílico, adípico, mirístico, mannónico, oléico, araquídico y acético. Además, los ácidos benzoico, acrílico, adípico, mirístico y palmítico han sido detectados incluso después del tratamiento con los procesos indicados. Mediante experimentos, se evaluó la eficiencia en la remoción de exudados de raíces para seleccionar el proceso más adecuado. El ácido benzoico se seleccionó como compuesto objetivo de remoción, debido a su capacidad de inhibir el crecimiento vegetal. Este compuesto fue removido completamente utilizando los tres procesos mencionados anteriormente con una concentración en la solución nutritiva reciclada de 23 µg/L. Adicionalmente, el carbón activado fue la técnica más eficiente en la remoción de materia orgánica. En efecto, la eficiencia en la eliminación de la DQO fue de 74%, 67% y 22% para el carbón activado, aplicación de ozono e intercambio iónico, respectivamente. (Leer artículo [completo](#))

Component	GAC adsorption	Ion exchange	Ozonation
Acetic acid	✓	✓	
Benzoic acid	✓	✓	✓
Uccinic acid			
Maleic acid			
Acrylic acid	✓	✓	✓
Adipic acid	✓		
Myristic acid	✓	✓	
Mannonic acid			
Phthalic acid		✓	✓
Palmitic acid	✓	✓	✓
Oleic acid	✓		✓
Stearic acid			
Arachidic acid	✓		

Treatment process	COD removal (%)	pH value	EC value (dS m ⁻¹)	UV ₂₅₄ removal (%)	UV ₂₇₂ removal (%)	UV ₂₈₀ removal (%)	UV ₃₀₀ removal (%)
GAC adsorption	74	7.55	2.64	86	84	82	76
Ozonation	67	6.30	2.96	63	54	51	43
Ion exchange	22	7.69	2.75	43	27	27	24

Figura 3. Ácidos orgánicos detectados después de tratamientos con carbón activado, intercambio iónico y aplicación de ozono; Efecto de los diferentes tratamientos de agua sobre el pH, EC, COD y absorbancia UV.

Remoción de nutrientes desde aguas residuales de hidropónicas a través de un consorcio microbiano y una cultura de *Paracercomonas saepenatans*. (Publicado en noviembre de 2017)

Se investigó el potencial de procesos microbianos para remover macronutrientes (e.g., N, P) y cationes inorgánicos (e.g., Ca^{+2} , Mg^{+2} y Fe^{+2}) desde sistemas hidropónicos. Se realizaron experimentos con consorcios microbianos basados en cultivos axénicos en soluciones nutritivas residuales (WNS¹). Un consorcio microbiano creció en la WNS y se inocularon especies seleccionadas de microalga *Paracercomonas saepenatans* en dos medios sintéticos diferentes (Bold's Basal Medium (BBM) y WNS sintética) en sistemas bach. Durante el crecimiento microbiano en cualquier medio no se observaron efectos tóxicos ni inhibiciones en el crecimiento. Tanto el consorcio microbiano como la *Paracercomona saepenatans* pueden crecer en BBM y WNS, y ambos remueven la mayoría de iones (e.g., >90% de remoción de NO_3^- y 41-100% de PO_4^{3-}) dentro de 16 días. Una remoción significativa se observó durante la fase de crecimiento de las comunidades microbianas (periodo de 4-10 días), indicando una utilización importante para esta fase, así como la precipitación química mineral. Además, el modelo MINEQL+ 4.6 mostró una alta remoción de PO_4^{3-} en WNS durante el crecimiento microbiano (comparado con BBM) debido a la precipitación de minerales fosfatados (e.g., hydroxyapatite, vivianite). Las especies microbianas dominantes en ambos sistemas también fueron identificadas. Las secuencias de ADN indicaron la presencia predominantes de *Vorticella* (58%) y *Scenedesmus* (33%) en WNS y *Scenedesmus* (89%) en BBM. Este estudio demostró el potencial de aplicación de técnicas de tratamiento basados en consorcios microbianos (predominantemente algas y protozoos) para sistemas hidropónicos. (Leer artículo [completo](#))

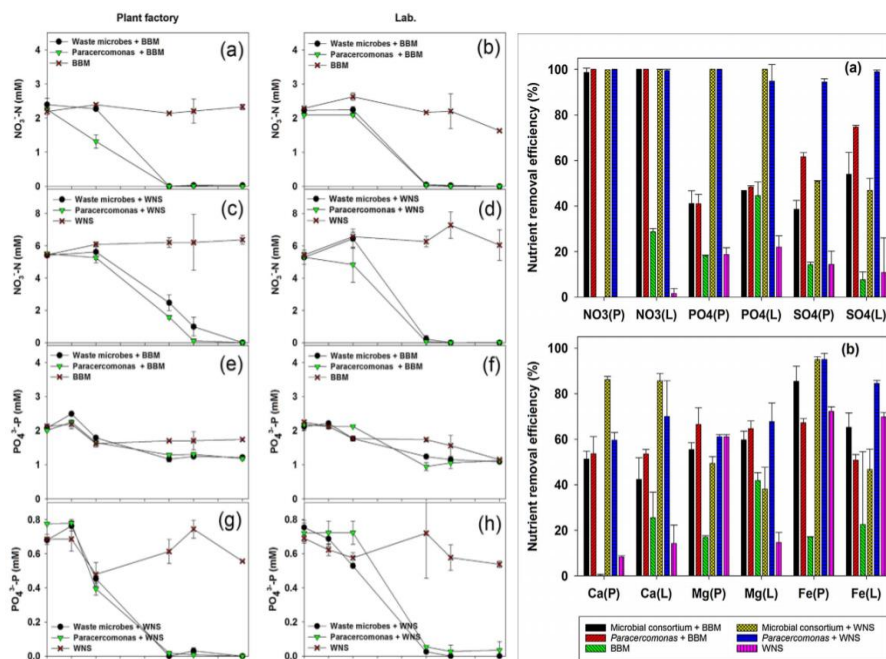
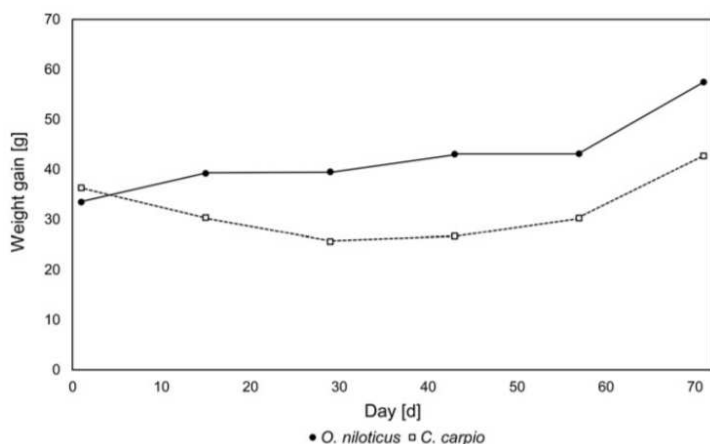


Figura 4. Variación en concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ y $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ en BBM (a, b - e, f) y soluciones nutritivas residuales (WNS) (c, d - h, g) durante incubación en sistemas bach en la planta comercial y en laboratorio. Eficiencia en la remoción de aniones y cationes disueltos en la planta comercial (P) y en laboratorio (L) utilizando consorcio microbiano y *Paracercomonas saepenatans* en medios BBM y WNS.

¹ WNS: Waste Nutrient Solution

Efecto de la selección de especies de peces sobre vegetales en sistemas de acuaponía bajo condiciones de primavera – verano en el norte de Alemania (Mecklenburg Western Pomerania) (Publicado en enero de 2017)

Se investigó el efecto de juveniles de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, en unidad 1) y Carpa común (*Cyprinus carpio*, in unit 2) sobre el crecimiento vegetal de (pepino – *Cucumis sativus*, tomate – *Solanum lycopersicum* y lechuga – *Lactuca sativa*) sobre unidades de acuaponía acopladas de inundación recirculante de sustrato de grava idénticos con un volumen total de 3,81 m³ sin adición de fertilizantes durante 70 días. El crecimiento de *O. niloticus* (unidad 1) fue mejor ($p < 0,05$) en el peso final (57,4 g \pm 27,9), una biomasa final de (27.683,3 g \pm 160,7), tasa de crecimiento específica (0,70% d⁻¹ \pm 0,01) y una relación de conversión de alimentación (1,31 \pm 0,02) en comparación con *C. carpio* (unidad 2, 42,7 g \pm 22,2; 21,866,7 g \pm 568,6; 0,39% d⁻¹ \pm 0,02; 2,69 \pm 0,20). La biomasa bruta del tomate fue dos veces más alta en combinación con *O. niloticus* y el peso por fruto fue levemente superior. El crecimiento en pepino mostró la mayor biomasa total en la unidad con *C. carpio*. El rendimiento de la lechuga fue cercano a cero como resultado de la competencia inter-específica. El Factor de Crecimiento Acuapónico (AGF²), que describe el desempeño de crecimiento de las combinaciones de plantas y peces, fue más alto en tomate (1,12) combinado con *O. niloticus* en comparación con *C. carpio* (0,53). Sin embargo, el AGF en pepino fue levemente mayor en combinación con *C. carpio* (0,14) respecto de *O. niloticus* (0,12). Este estudio demostró que el mejor crecimiento vegetal se obtiene entre tomate - *O. niloticus* y pepino - *C. carpio*. (Leer artículo completo)



Parameters	Unit I <i>O. niloticus</i>	Unit II <i>C. carpio</i>
Cucumber		
Gross biomass per box (kg) ¹	12.3 ^a \pm 3.7	13.4 ^a \pm 1.7
Total gross biomass of all five boxes (kg) ²	61.6	67.2
Gross biomass per plant (g plant ⁻¹) ³	1026.9 ^a \pm 306.8	1120.3 ^a \pm 144.5
Fresh biomass per box (kg) ⁴	11.3 ^a \pm 2.8	12.8 ^a \pm 1.5
Total fresh biomass of all five boxes (kg) ⁵	56.3	64.0
Fresh biomass per plant (g plant ⁻¹) ⁶	939.0 ^a \pm 236.6	1067.3 ^a \pm 121.4
Fruit weight per box (kg) ⁷	1.1 ^a \pm 1.1	0.6 ^a \pm 0.3
Total fruit weight of all five boxes (kg) ⁸	5.3	3.2
Fruit weight per plant (g plant ⁻¹) ⁹	88.0 ^a \pm 89.7	53.0 ^a \pm 27.0
Leaf length (cm)	21.8 ^a \pm 2.4	21.5 ^a \pm 2.0
Leaf width (cm)	24.5 ^a \pm 2.3	24.8 ^a \pm 2.2
Tomato		
Gross biomass per box (kg) ¹	6.7 ^a \pm 2.6	3.2 ^b \pm 0.9
Total gross biomass of all five boxes (kg) ²	33.7	16.2
Gross biomass per plant (g plant ⁻¹) ³	561.9 ^a \pm 212.3	269.3 ^b \pm 78.0
Fresh biomass per box (kg) ⁴	6.6 ^a \pm 2.5	3.1 ^b \pm 0.9
Total fresh biomass of all five boxes (kg) ⁵	33.0	15.6
Fresh biomass per plant (g plant ⁻¹) ⁶	550.4 ^a \pm 211.3	260.0 ^b \pm 74.1
Fruit weight per box (kg) ⁷	0.1 ^a \pm 0.0	0.1 ^a \pm 0.1
Total fruit weight of all five boxes (kg) ⁸	0.7	0.6
Fruit weight per plant (g plant ⁻¹) ⁹	11.5 ^a \pm 6.6	9.3 ^a \pm 5.2
Leaf length (cm)	42.5 ^a \pm 6.1	41.0 ^a \pm 6.6
Leaf width (cm)	38.0 ^a \pm 8.0	35.1 ^a \pm 8.2

Figura 5. Ganancia de peso de *O. niloticus* (unidad 1) y *C. carpio* (unidad 2) pasado 70 días consecutivos; Parámetros promedio de crecimiento vegetal de pepino y tomate, letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

² AGF: Acuaponic Growth Factor

Patentes

Patentes sobre desalinización de agua para agricultura y tecnologías emergentes.

La búsqueda de patentes se realizó en la base de datos de Patentscope de World Intellectual Property Organization WIPO, considerando las patentes publicadas entre 2016 y 2020.

Los países que han liderado la obtención de patentes durante el último tiempo, han sido Estados Unidos, China y PCT (Figura 6).

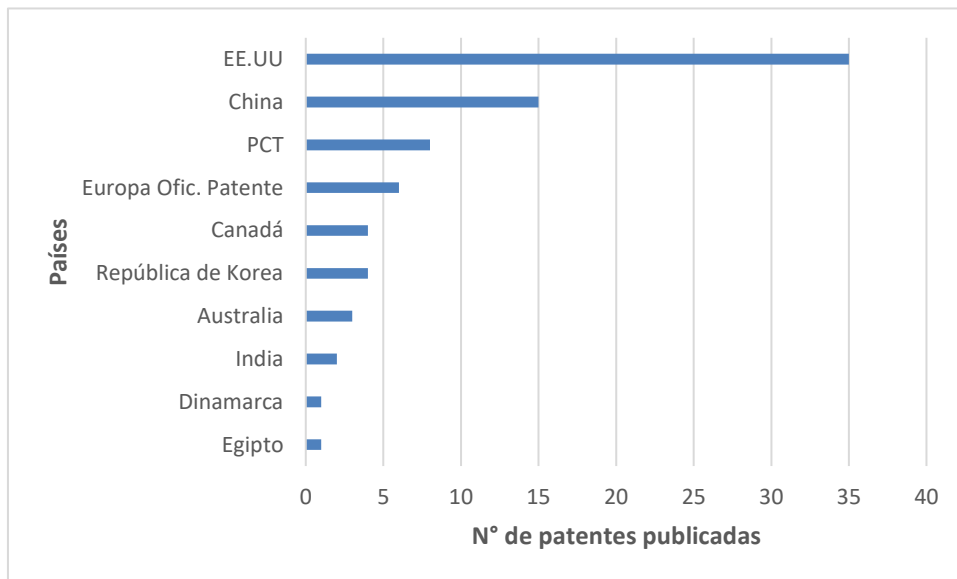


Figura 6. Número de patentes publicadas por país solicitante (2016 - 2020).

Patentes

Entre el periodo de 2016 y 2020 se publicaron 52 patentes en tecnologías asociadas a la acuaponía, algunas de estas asociadas a invenciones complementarias para innovar en diseño y componentes específicos. El año 2019 hubo una mayor cantidad de inventos patentados, mientras que en 2020 se observa un número menor.

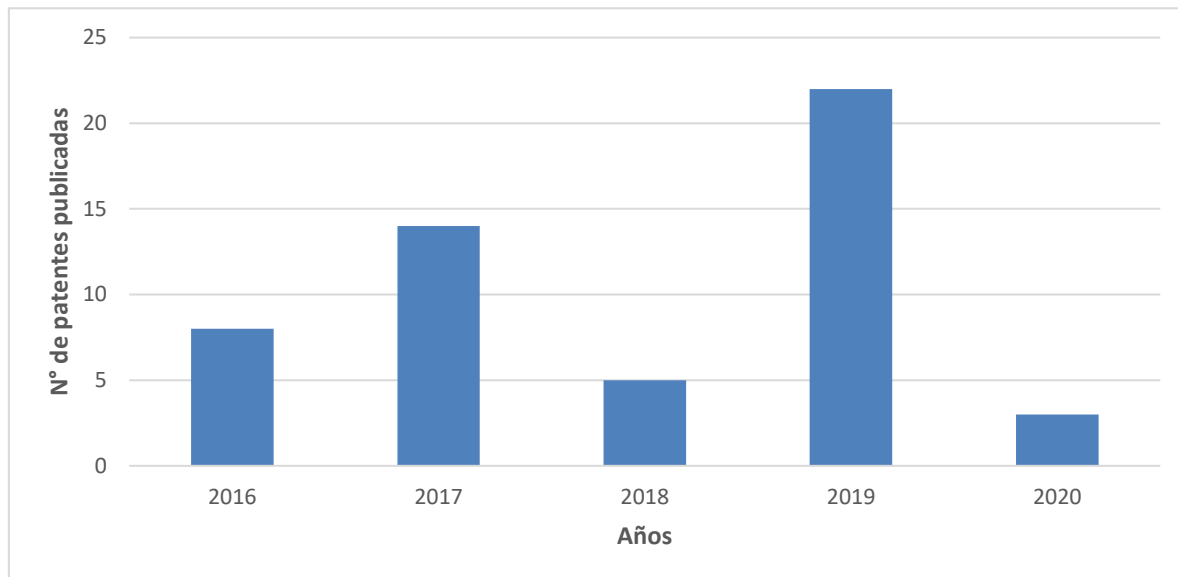


Figura 7. Número de patentes publicadas por año.

Patentes

Sistema de cultivo rotativo y vertical.

John Thomas Cross

Fecha de publicación: (28 de junio de 2016)

Tipo de publicación B1

Número de solicitud/publicación: US9374952B1

Un sistema de crecimiento vertical giratorio aumenta la circulación entre una red hidropónica y una red acuapónica en un sistema de fluido cerrado. Las redes son interdependientes y operan sobre un cuerpo constante de fluido de crecimiento, que circula continuamente entre un recipiente acuapónico y uno de crecimiento hidropónico. La energía rotacional y una presión directa generadas por un fluido externo, sirven para aumentar el caudal del fluido de crecimiento durante la circulación. Una parte de la base giratoria flota concéntricamente en el recipiente acuapónico. La base incluye un sistema de engranajes que permite la rotación. Los componentes sobresalientes se extienden desde la parte de base giratoria, para agitar y guiar el fluido de crecimiento a través de la trayectoria circulatoria. El fluido externo se descarga en el recipiente para airear el fluido, aumentar el caudal del fluido de crecimiento y accionar el sistema de engranajes. El contenedor de crecimiento hidropónico gira para proporcionar un acceso uniforme de luz para las plantas. (Leer artículo [completo](#))

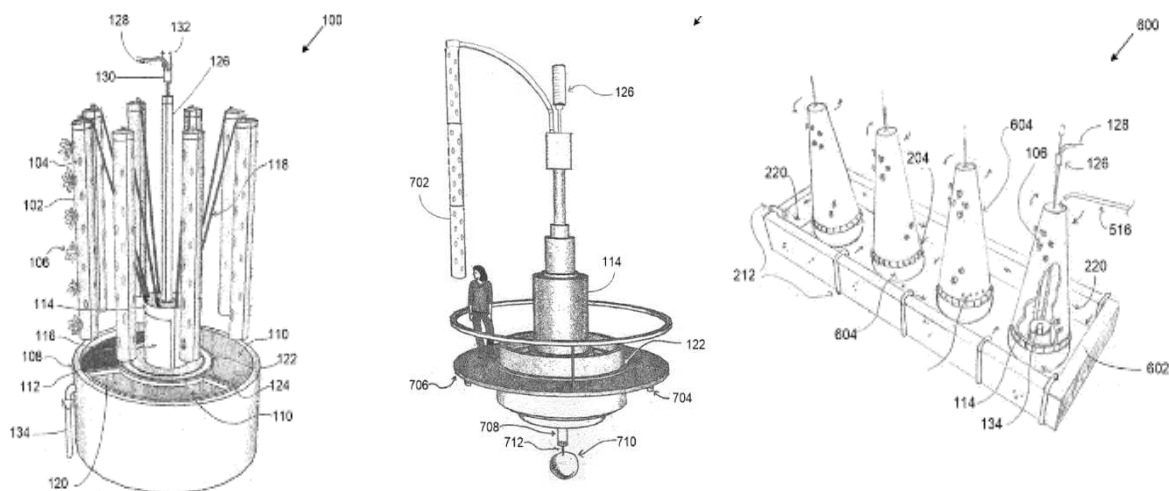


Figura 8. Diagramas del sistema de cultivo rotatorio vertical.

Patentes

Sistema de acuaponía.

YU XIAODONG

YU XIAODONG

Fecha de publicación: 16 de agosto de 2019

Número de solicitud/publicación: CN110122402A

El sistema comprende tanques de cultivo de peces, filtros, una estructura de plantación de vegetales y un depósito de agua, en donde los tanques de cultivo de peces se conectan con los filtros, los filtros se conectan con la estructura de plantación de vegetales, la estructura de plantación de vegetales se conecta con el depósito de agua, el depósito de agua se conecta con los tanques de cultivo de peces, el agua que fluye fuera de los tanques de cultivo de peces es filtrada removiendo impurezas por el efecto de las raíces de las plantas, el agua en el depósito se inyecta en los tanques de cultivo de peces después del tratamiento de esterilización. El sistema de tratamiento de aguas residuales tiene una estructura simple, de bajo costo de fabricación y bajo consumo de energía. (Leer artículo [completo](#))

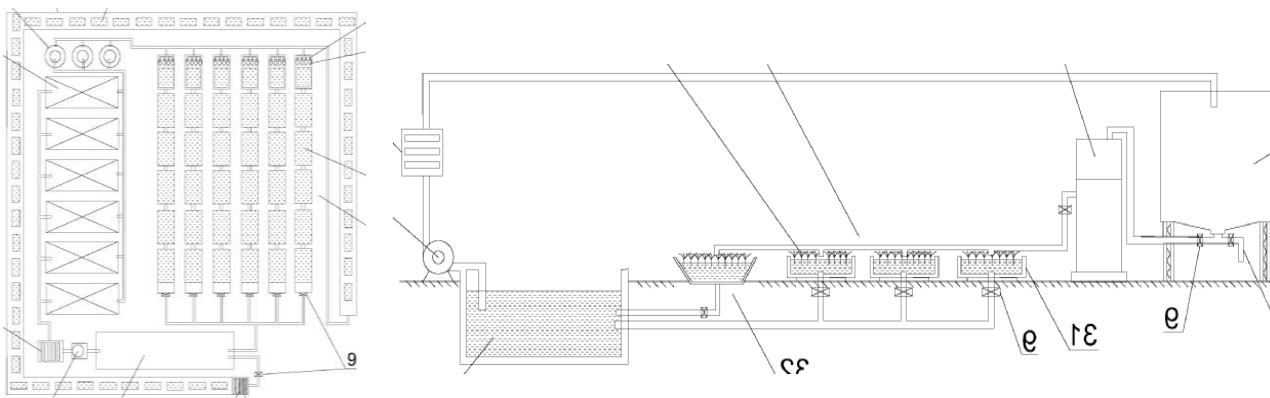


Figura 9. Diseño del sistema de producción de acuaponía.

Patentes

Método para suplementar hierro, calcio y potasio en sistemas de acuaponía.

**Qu Mu; Bao Limei; Zhang Hongzhu; Zhai Shengli
TIANJIN XIANDAI CHENHUI TECHNOLOGY GROUP CO.**

Fecha de publicación: 22 de octubre de 2019

Número de solicitud/publicación: CN110352875A

Es un método de suplemento de hierro, calcio y potasio en un sistema acuapónico. El método incluye las siguientes etapas: (1) preparación de fertilizante de hierro quelado; (2) suplemento de hierro; (3) adición de calcio y potasio. El método tiene las ventajas de que los fertilizantes de hierro quelado se preparan en el sistema acuapónico, se reduce el costo de funcionamiento del sistema, se resuelve el problema de alto costo y cambio de efecto provocado por los reactivos de hierro quelado. Los fertilizantes de hierro utilizados son citrato ferroso y solución de enzima-ferrosa, el pH adaptable es amplio, la estabilidad es alta, y el hierro puede ser absorbido adecuadamente por las plantas, facilitándose por la adición de calcio y del potasio, estos pueden ser absorbidos por sistemas de raíz de las plantas, y el pH del agua de acuacultura se estabiliza y se mantiene notablemente en ambientes alcalinos débiles. (Leer artículo [completo](#))

Patentes en Chile

En el buscador de patentes del sitio web del Instituto Nacional de Propiedad Industrial INAPI (www.inapi.cl), no se encontraron una solicitudes asociadas a acuaponía o a sistemas de reutilización de agua de hidroponía.

Referencias

- Asao, T., H. Kitazawa, K. Ushio, Y. Sueda, T. Ban y Paramanik, M. (2007). Autotoxicity in some ornamentals with the means to overcome it. *Horticultural Science*. 42 (6) 1346-1350. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267833479_Autotoxicity_in_Some_Ornamentals_with_the_Means_to_Overcome_It
- Castellar, J., J. Formosa, A. Fernández, P. Jové, M. González, J. Morató, H. Brix y Arias, C. (2019). Cork as a sustainable carbon source for nature-based solutions treating hydroponic wastewaters – Preliminary batch studies. *Science of the Total Environment*. 650, 267 – 276. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718333369>
- Castillo, S., M. Rosales, C. Pohlenz y Gatlin, D. (2014). Effects of organic acids on growth performance and digestive enzyme activities of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*. 433, 6 – 12. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848614002695>
- Da Silva, B. (2020). Fulvic acid increases iron bioavailability in aquaponic systems: Theoretical designs and practical considerations to prevent iron deficiency in plants. *Aquacultural Engineering*. 90, 102091. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860919300767>
- Ghasemi, S., A. Khoshgoftarmanesh, M. Afyuni y Hadadzadeh, H. (2014). Iron(II)-amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae*. 165, 91 – 98. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423813005633>
- Hossezadeh, S., G. Bonarrigo, Y. Verheust, P. Roccaro y Van Hulle, S. (2017). Water reuse in closed hydroponic systems: Comparison of GAC adsorption, ion exchange and ozonation processes to treat recycled nutrient solution. *Aquacultural Engineering*. 78, 190 – 195. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860917300699>
- Kasoz, N., R. Tandlich, M. Fick, H. Kaiser y Wilhelmi, B. (2019). Iron supplementation and management in aquaponic systems: A review. *Aquaculture Report*. 15, 100221. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513419300183>
- Knaus, U. y Palm, H. (2017). Effects of the fish species choice on vegetables in aquaponics under spring-summer conditions in northern Germany (MecklenburgWestern Pomerania). *Aquaculture* 473,62–73. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2017.01.020>.
- Kitazawa, H., T. Asao, T. Ban, M. Pramanik y Hosoki, T. (2005). Autotoxicity of root exudates from strawberry in hydroponic culture. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 80 (6) 677 – 680. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.2005.11511997>
- König, B., J. Janker, T. Reinhardt, M. Villarroel y Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal Cleaner Production*. 180, 232–243. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.01.037>.
- Lee, G., B. Lee y Lee, H. (2006). Accumulation of phytotoxic organic acids in reused nutrient solution during hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*. 110, 119-128. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423806002445>
- Maucieri, C. A. Forchino, C. Nicoletto, R. Junge, R. Pastres, P. Sambo y Borin, M. (2018). Life cycle assessment of a micro aquaponics system for educational purposes built using recovered material. *Journal Cleaner Production*. 172, 3119–3127. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.097>.
- Park, J., S. Kim, R. Delaune, J. Cho, J. Heo, Y. Ok y Seo, D. (2015). Enhancement of nitrate removal in constructed wetlands utilizing a combined autotrophic and heterotrophic denitrification technology for treating hydroponic wastewater containing high nitrate and low organic carbon concentrations. *Agricultural Water Management*. 162, 1 – 14. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377415300676>
- Rakocy, J., M. Masser y Losordo, T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. SRAC Publication 454. Disponible en: https://uvi.edu/files/documents/Research_and_Public_Service/AES/SRAC454.pdf.
- Resh, H. 2001. Cultivos hidropónicos nuevas técnicas de producción. 5ta Edición. 543p
- Suhl, J., D. Dannehl, W. Kloas, D. Baganz, S. Jobs, G. Scheibe y Schmidt, U. (2016). Advanced aquaponics: evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. Conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*. 178, 335–344. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.013>.
- Trang, N. y Brix, H. (2012). Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture-hydroponics systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research*, 45(3), 460–469. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/264733354_Use_of_planted_biofilters_in_integrated_recirculating_aquaculture-hydroponics_systems_in_the_Mekong_Delta_Vietnam
- Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., König, B., Plaza, I., Bittsánszky, A., & Joly, A. (2016). *Survey of Aquaponics in Europe*. *Water*, 8(10), 468. doi:10.3390/w8100468



Programa de Mejoramiento Institucional en Recursos Hídricos

Universidad Católica del Norte

Pabellón E2 / Av. Angamos 0610, Casilla 1280, Antofagasta

Fono:

(55) 2651740 / (55) 2355044

E-Mail:

ceitsaza@ucn.cl

Página Web:

www.ceitsaza.cl

Proyecto de Consolidación de Oficinas de Transferencia y Licenciamiento

Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica

Universidad Católica del Norte

E-Mail:

Innovacion.vridt@ucn.cl

Página Web:

ditt.ucn.cl



Dirección de Innovación y Transferencia Tecnológica