

Productividad de la lechuga (*Latuca Sativa L.*) en acuaponía e hidroponía

Bautista Olivas Ana Laura, Dra.

Fernández David René, MC.

Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería,
Hermosillo, Sonora, México

Álvarez Chávez Clara Rosalía, Dra.

Sánchez Mexia Ángel Carlos, Q.A.

Universidad de Sonora, Departamento de Ciencias Químico Biológicas,
Hermosillo, Sonora, México

Mendoza-Cariño Mayra, Dra.

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios
Superiores Zaragoza, Ciudad de México, México

García Cabello Karla, MC.

Hort Américas México, Hermosillo, Sonora, México

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n21p283](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n21p283)

Submitted: 09 January 2021

Accepted: 27 May 2021

Published: 30 June 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Bautista Olivas A.L., Fernández D.R., Álvarez Chávez C.R., Sánchez Mexia A.C., Mendoza-Cariño M. & García Cabello K. (2021). Productividad de lechuga (*Lactuca Sativa L.*) en acuaponía e hidroponía. European Scientific Journal, ESJ, 17(21), 283.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n21p283>

Resumen

El cambio de uso del suelo con fines agrícolas bajo esquemas de manejo agrícola y uso del agua poco eficientes, originan suelos infértiles. Para el cultivo de hortalizas se estudian técnicas que produzcan altos rendimientos con los menores costos económicos y ambientales. Los objetivos del estudio fueron estimar y comparar el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) en los sistemas productivos acuapónico (SA) e hidropónico (SH). La metodología comprendió dos etapas: el establecimiento de los sistemas productivos tipo Nutrition Film Technique (NFT) y el monitoreo del desarrollo del cultivo en ambos sistemas. Las bases de datos y el tratamiento estadístico se realizaron en el programa Excel de Windows Versión 10. La prueba *t* de student con un

nivel de significancia de 0.05 indicó el peso promedio de las lechugas: 0.056 kg (\pm 0.005 kg) en el SA, y 0.097 kg (\pm 0.007 kg) en el SH. El SH generó mayor rendimiento (1.85 kg/m²) que el SA (1.08 kg/m²); lo que se atribuyó a que el SH contó con los nutrientes necesarios desde el inicio del cultivo, por la aplicación de fertilizante. La temperatura alta influyó en el comportamiento de los peces del SA, ya que provocaron menor consumo alimenticio y de aporte de desechos orgánicos al agua que, promovieron una baja cantidad de nutrientes y afectaron la producción y el rendimiento del cultivo. Se recomiendan la generación de conocimiento para complementar los resultados obtenidos, como el gasto hídrico y su comparación con los sistemas de cultivo de lechuga tradicionales.

Palabras-clave: Acuicultura, agricultura integral, producción limpia, recirculación de agua.

Productivity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in aquaponics and hydroponics

Bautista Olivas Ana Laura, Dra.

Fernández David René, MC.

Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería,
Hermosillo, Sonora, México

Álvarez Chávez Clara Rosalía, Dra.

Sánchez Mexía Ángel Carlos, Q.A.

Universidad de Sonora, Departamento de Ciencias Químico Biológicas,
Hermosillo, Sonora, México

Mendoza-Cariño Mayra, Dra.

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios
Superiores Zaragoza, Ciudad de México, México

García Cabello Karla, MC.

Hort Américas México, Hermosillo, Sonora, México

Abstract

Land use change for agriculture under poor farm management and inefficient water use, produces infertile soils. For green vegetable farming, there are some techniques for the achievement of high crop yields with the lowest economic and environmental costs. The study objectives were to estimate and compare lettuce yields (*Lactuca sativa* L.) in aquaponic (SA) and hydroponic (SH) production systems. Methodology encompassed two stages: the establishing of a Nutrition Film Technique (NFT) productive system and the monitoring of the crop growing in both systems. Database integration and statistical analyses were performed using Windows Excel version 10. Average

lettuce weight using t-test (significance level of 0.05) were 0.056 kg (\pm 0.005 kg) in SA, y 0.097 kg (\pm 0.007 kg) in SH. SH reached higher yields (1.85 kg/m²) than SA (1.08 kg/m²); likely due to the fact that SH had all needed nutrients since the beginning of the crop, by applying fertilizer. High temperature influenced fish behavior in SA, observing lower food consumption and organic waste supply to the water, releasing low nutrient load that affected crop production and yield. More studies are recommended in order to deepen the outcomes, such as those including water flow and the comparison with conventional lettuce crop systems.

Keywords: aquaculture, circulating water systems, cleaner production, integrated agriculture.

Introducción

En los últimos años se ha incrementado la cantidad de suelos deteriorados, mismos que bajo esquemas de manejo agrícola y uso del agua poco eficientes, se tornan infértiles (Wang et al., 2016), menos productivos (Ávila, 2002) y, en consecuencia, son abandonados por falta de rentabilidad (Baumann et al., 2011). La escasez de suelos de óptima calidad, constituye un problema grave que persiste a escala mundial (Acosta & Naranjo, 2011).

El cambio de uso del suelo con fines agrícolas vinculados a sistemas de producción tradicionales, genera diversos impactos negativos como la pérdida de agua a través del escurrimiento superficial, de la evapotranspiración y por el consumo por las malezas (Escobar et al., 2018); y sequía y salinidad, que son factores que limitan la capacidad productiva de plantas en el suelo (de Santana et al., 2015). Aunado a lo anterior, se encuentran las afectaciones a los ecosistemas, a la biodiversidad y al bienestar humano (Foley et al. 2005).

Ante la necesidad de aumentar la producción de alimentos, en un contexto de sostenibilidad ecológica y social, se requieren modelos agrícolas que cumplan satisfactoriamente las expectativas de producir altos rendimientos con los menores costos económico (Noruega, 2018) y ambiental, satisfacer las demandas básicas de alimentos, y mejorar la calidad de vida de los productores (Aguilar et al., 2018) y de la sociedad en general. Para cultivar hortalizas se han desarrollado técnicas diferentes a las convencionales, como la acuaponía y la hidroponía que se consideran como las alternativas más sustentables para su producción (Wilson, 2018).

Sistemas acuapónicos

La acuaponía es la combinación de un sistema de acuicultura recirculante con la hidroponía (Rakocy, 2006): la acuicultura refiere al cultivo de animales acuáticos como peces (la Tilapia del Nilo, *Oreochromis*

niloticus L. es la especie de mayor uso), moluscos, crustáceos y plantas acuáticas en ambientes controlados; la hidroponía es el cultivo de plantas, cuyas raíces se desarrollan en soluciones de nutrientes (Malcolm, 2005).

Sin embargo, uno de los principales problemas que presentan los sistemas cerrados de recirculación de agua en la acuicultura, es la eliminación constante de los metabolitos tóxicos como el amoníaco (N-NH_3) y el nitrito (N-NO_2^-). Los peces excretan nitrógeno amoniacal (N-NH_3 y N-NH_4^+) a través de sus branquias y la orina (Lagler et al., 1984), aunque el compuesto también se produce por la descomposición microbiana de las excretas y del alimento no consumido. El alimento balanceado que se aporta a los peces, constituye hasta 88 % del nitrógeno en un sistema de cultivo. Según Gross et al. (2000), existen mecanismos que eliminan el nitrógeno en un estanque: la cosecha de los peces (representa 31.5 %), el proceso desnitrificante (17.4 %), la volatilización del amoníaco (N-NH_3 ; 12.5 %) y la sedimentación (2.6 %).

Así, la acuaponía refiere a un sistema productivo en el que los desechos orgánicos que se producen por los organismos acuáticos, se convierten en nitratos mediante la acción bacteriana. Mismos que actúan como fuente de alimento para las plantas. Éstas a su vez, se desempeñan como filtro biológico, ya que limpian el agua de los peces al extraer los nitratos (Parker, 2002).

El sistema acuapónico (SA) se compone por: i) un tanque para peces u otros organismos acuáticos como el camarón (*Cherax quadricarinatus* Von Martens (Diver, 2006); ii) clarificador o filtro de sólidos; iii) biofiltro, iv) cama de crecimiento para plantas; v) sistema de bombeo de agua y; vi) sistema de aireación (Lennard & Leonard, 2005). Esos elementos se interconectan, y permiten que el agua enriquecida con nutrientes pase del tanque de peces al clarificador (donde se elimina la mayor parte de partículas disueltas), para disponer el riego de las plantas (Ramírez, 2009).

Los SA presentan ventajas sobre los sistemas convencionales de producción agrícola: menores costos económicos derivados del transporte del agua y de su reciclaje al encontrarse en un sistema cerrado, así como el menor uso de agroquímicos y fertilizantes. Aunado a ello, bajos costos ambientales ya que se reutiliza el agua de los contenedores de los peces. La cual, contiene una carga elevada de nitrógeno disuelto, que actúa como contaminante (Caló, 2011).

Es decir, las bacterias nitrificantes convierten el amoníaco a nitrito en los SA y después en nitrato. En dicho proceso, las bacterias desarrollan dos funciones: degradan los compuestos nitrogenados que se presentan en forma tóxica para los peces [amonio (N-NH_3) y nitritos (N-NO_2^-)]; y proveen nutrientes a las plantas en forma de nitrato (N-NO_3^-) (Martínez, 2013).

De esta manera, la acuicultura se ha convertido en los últimos años en una de las actividades con mayor potencial productivo en México:

proporciona beneficios económicos y sociales, reflejados en el valor nutricional del producto y en su accesibilidad por el bajo gasto monetario que exige (Vilches et al., 2014); por lo que también se le considera como una fuente de salud y de riqueza. La acuicultura es el “cultivo” de organismos acuáticos de manera programada, cuya práctica disminuye la presión de pesca en los mares y en los ríos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014).

Entre otros beneficios de los SA se encuentra la producción de vegetales con un valor agregado, ya que éstos se consideran como productos orgánicos (Diver, 2006). Así se genera una productividad sostenible de peces y de hortalizas sin hacer uso de tierra, con bajo costo económico y mejor remuneración, que atiende dos de los principales problemas a nivel mundial: la falta de agua y de alimentos, derivada por el uso incorrecto del agua dulce en la agricultura (Cutíño, Imeroni & Sonzano, 2018).

La acuaponía representa un sistema de producción en el que se obtiene alimento con menos recursos y mayor aprovechamiento de los mismos, lo que contribuye al desarrollo de la agricultura sostenible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019). La cual, constituye un elemento importante en la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (objetivos dos, seis, siete, nueve, 12, 14 y 15) (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018).

De manera particular, el objetivo 7b de la Agenda hace referencia a las soluciones viables para que, aquellos países sin litoral, dispongan de una actividad económica sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018). Lo anterior permite la oportunidad a las actividades acuapónicas, como una opción para mitigar la pobreza en áreas rurales (García, 2010), como una alternativa viable en la producción de alimentos, y como un mecanismo posible entre el punto de equilibrio del desarrollo sustentable y su mantenimiento en el transcurso de su evolución.

Sin embargo, los SA presentan algunas limitaciones como la dependencia a la electricidad para el funcionamiento de las bombas de agua y de aireación. Debido a la complejidad ecológica que estos sistemas implican, cualquier falla en su ejercicio los coloca en riesgo; por ejemplo, la cantidad adecuada de peces, microorganismos y plantas (Medina & Arijó, 2019). Si la cantidad de peces aumenta considerablemente, la actividad de las plantas para reducir los niveles de amonio y nitritos se torna insuficiente y los peces mueren; por el contrario, si los peces son escasos, se generan pocos nutrientes para las plantas (Pavlis, 2018).

Como el efluente de la acuicultura contiene nitrógeno y fósforo en abundancia, pero otros nutrientes vegetales importantes como el potasio y el hierro quelado se encuentran en baja cantidad (Rakocy et al., 2004), el perfil

de nutrientes de dicho efluente se ajusta según los requerimientos nutricionales de las plantas (Rakocy, 1989).

Por todo lo anterior, los SA requieren de una elevada inversión económica, insumos de energía moderados, y el trabajo de personal calificado para atender los problemas derivados del proceso de producción (Bakiu & Shehu, 2014).

Sistemas hidropónicos

La hidroponía se deriva del griego “*hydro*” agua; y “*ponos*” labor, lo que se interpreta como “trabajo en agua” (González, 2006). En los sistemas hidropónicos (SH) es necesario proporcionar a la planta, los elementos esenciales para su desarrollo. Los que, de manera natural, la planta obtendría del suelo (Viveros et al., 2018). En los SH se provén los nutrientes directamente al agua, a través de un sistema de tuberías que se construye con materiales resistentes como el policloruro de vinilo (PVC); lo que permite el crecimiento de las plantas, en ausencia de un sustrato de tierra (Ross, 2016).

Steiner (1961), establece que los SH se fundamentan en las interacciones químicas de diferentes iones (aniones y cationes), cuya formulación excluye al ion amonio; mismo que proporciona nitrógeno fácilmente asimilable a las plantas en crecimiento. El conocimiento sobre el contenido óptimo del ion amonio para el desarrollo de las plantas, incrementa el rendimiento del cultivo y evita el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (Smill, 1997).

Entre las ventajas de los SH, se encuentran el mayor aprovechamiento del agua debido a su recirculación a través del sistema, lo que reduce su uso hasta en 95 % en correspondencia con aquellos cultivos que crecen en campo; por lo que los productores agrícolas pueden establecer unidades hidropónicas de alto rendimiento, cerca de los centros poblacionales en regiones de climas adversos, donde se reduce el tiempo de tránsito y la pérdida de nutrientes durante el envío (Gilmour et al., 2019).

Producción de lechuga y tilapia en México

Las hortalizas tienen relevancia en la economía agrícola de México, debido a su aporte en la generación de divisas y de empleo en el campo (Gutiérrez et al., 2014). A escala mundial, México es el noveno productor de hortalizas con una producción de 14.1 millones de toneladas/año (SIAP, 2016). En 2019, el país ocupó el noveno lugar como productor de lechuga; julio y agosto fueron los meses de mayor disponibilidad (SADER, 2019), lo que generó importantes ingresos económicos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2008). Particularmente en el estado de Sonora, la lechuga es uno de los principales productos agrícolas de exportación; en 2017 se exportaron 10,241 toneladas (SAGARHPA, 2018).

En lo que refiere a la producción acuícola, México se sitúa en quinta posición entre las especies de valor pesquero; en la tercera, por el valor de su producción (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018). En este sentido, el estado de Sonora es una de las entidades con mayor éxito en la acuicultura: en 2016 encabezó el volumen de producción a escala nacional con 439,000 toneladas de producto (Gobierno Estatal de Sonora, 2017). En tanto que su productividad anual promedio durante el periodo 2004-2013, fue de 56,033.7 toneladas (SAGARPA, 2015).

Con base en informes del Gobierno del estado de Sonora (Gobierno Estatal de Sonora, 2017), 90 % del stock pesquero está al máximo del rendimiento sostenible o está sobreexplotado, por lo que se requiere implementar acciones que fortalezcan la acuicultura: se busca impulsar el empleo de especies como la tilapia y el bagre, además de estandarizar tecnologías para la producción acuícola de esas especies en mar y en cultivo (Gobierno Estatal de Sonora, 2017).

Debido a que los impactos ambientales generados por los residuos acuícolas son graves, aunado a la persistencia en la búsqueda de una fórmula de alimentos para peces que permita mayores rendimientos (Cho & Bureau 2001), la producción acuapónica ofrece soluciones factibles ante un escenario de carencia de agua (Fimbres, 2007), de mitigación de daños ambientales, y con la posibilidad de generar beneficios económicos.

Al respecto, la Universidad Estatal de Sonora realizó estudios financieros, cuyos resultados indican la viabilidad del proceso acuapónico, ya que la inversión económica inicial es baja, con periodos cortos de recuperación (Figueroa, 2007). Otros estudios de la misma Universidad, validan la producción de pepino y de tilapia en SA (Estrada et al., 2018); mientras que recientes investigaciones analizan el efecto de la salinidad en el rendimiento del camarón marino *Litopenaeus vannamei* B. y de la planta halófila *Sarcocornia ambigua* Michx. en un SA con biofloc (Pinheiro et al. 2020).

Según Urbalejo (2006), el mercado internacional registra demanda alta de la producción de tilapias, pero la cobertura es baja e insatisfecha, como en el caso de los Estados Unidos de América; lo que constituye un área de oportunidad para el mercado nacional. Por lo que el objetivo del estudio, fue estimar y comparar el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo los sistemas productivos acuapónico e hidropónico.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el vivero del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora;

en las coordenadas geográficas de 29° 00' 47" latitud norte, 111° 08' 13" longitud oeste a una altitud 151 m. La temperatura media anual de la región es de 25 °C con una precipitación anual de 246.4 mm, con un clima BW(h') hw (x') (e') según García (2004). El estudio comprendió dos etapas. La primera de ellas fue el establecimiento de los sistemas productivos tipo "Nutrition Film Technique" (NFT); la segunda, fue la comparación del rendimiento de los cultivos acuapónico e hidropónico.

Primera etapa: establecimiento de los sistemas productivos tipo "Nutrition Film Technique"

Para la instalación de los sistemas se hicieron dos excavaciones en el suelo, dentro de la casa sombra; tuvieron como medidas 70 cm de diámetro y 80 cm de profundidad. En ellos, se enterraron los tinacos de 250 litros que, a su vez, se conectaron al SA y al SH. En ambos casos, se cubrió el suelo de los alrededores, con grava blanca para reflejar los rayos solares y evitar la absorción de calor (Figura 1a).



Figura 1. Contenedor enterrado(a), cama de siembra de PVC sistema hidropónico (b), cortes de poliducto corrugado para biofiltro de sistema acuapónico (c), montaje de los sistemas acuapónico (izquierda) e hidropónico (derecha) (d)

En el SA se montó un biofiltro como punto intermedio entre el tanque y la cama de siembra, que tuvo la función de albergar la microbiota (Figura 1b). En su interior, se colocó un metro de poliducto corrugado cortado en trozos, que actuó como adherente de microorganismos (Figura 1b). El suministro de energía eléctrica para los sistemas se efectuó a través de una bomba, marca Airon® de 800 litros por hora de capacidad; misma que permitió la recirculación de agua en la totalidad del SA y del SH. Luego, se dejó recircular el agua a través del sistema por un mes, a una temperatura de 25 °C y un pH de 8. Para conectar el tanque, el biofiltro y la cama de siembra se emplearon conexiones de PVC de ½ pulgada (Figura 1d).

Para establecer la relación entre las lecturas de los compuestos nitrificantes con el crecimiento de los microorganismos, se utilizó el kit *API master kit test* para peceras de agua dulce. Con el cual, se midieron las concentraciones de amoníaco, los nitritos y nitratos en ppm (mg/l). Las muestras (5 ml) se tomaron por triplicado durante cinco semanas (21 de febrero-26 de marzo), del efluente del tubo de PVC de 2”, mismo que retornó al tinaco. Es decir, a partir del inicio del desarrollo del biofiltro.

Segunda etapa: comparación del rendimiento de los cultivos acuapónico e hidropónico

Durante el periodo de pre-siembra de la lechuga en el SA, se realizaron pruebas simples de siembra con base en esquejes de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), con la finalidad de supervisar que en el sistema, estuvieran disponibles los nutrientes necesarios para el cultivo de lechuga cuando ésta se estableciera: se examinaron la turgencia, el color, tamaño y forma de las hojas de albahaca durante 21 días, que es el tiempo promedio en el que la planta presenta el crecimiento mayor en altura, número de hojas, peso fresco y área foliar (Colorado, Montañez, Bolaños & Rey, 2013).

La siembra de la semilla de la lechuga (Figuras 2a y 2b) se realizó en un cuarto de producción de semillas, donde la germinación ocurrió en condiciones ambientales controladas: temperatura de 25 °C, bajo lámparas de iluminación hortícola de colores azul y rojo de la marca *Arize™ life* de potencia 33.5 W y longitud de cuatro ft (Figura 2c). Dichas condiciones se mantuvieron en el cuarto de producción de semillas durante cuatro semanas, tiempo en el que se requirió de 2.47 litros de agua mientras las semillas se desarrollaron en sustrato de lana roca. Mismo que se colocó en una charola de germinación extra rígida plana, marca GLL modelo CH00 de 55x28 cm. Luego, las plántulas se trasplantaron a los SA y SH.

El SA se integró por plantas de lechuga, tilapias y un biofiltro; mismo que se constituyó por medio de un cultivo de microorganismos nitrificantes. Los peces utilizados fueron tres Tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), con un peso inicial de 500 g cada una, las cuales se alimentaron con croquetas

comerciales para pez; se mantuvo la recirculación del agua en forma continua para obtener un microambiente favorable para todos los organismos durante un mes.

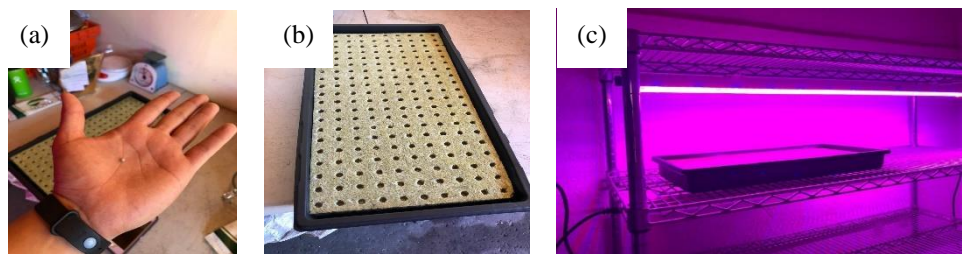


Figura 2. Semilla de lechuga (a), charola de siembra (b), cuarto de producción (c)

Cabe mencionar, que previo a la operación de los sistemas, se realizó el análisis químico del agua. La cual, se extrajo del pozo del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. El análisis químico consistió en mediciones de: conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos, concentración de bicarbonatos, cloro, magnesio, potasio, sodio y sulfatos según las técnicas analíticas indicadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Métodos analíticos empleados en la determinación de variables químicas y fisicoquímicas del estudio

Determinación	Método analítico	Fuente
Bicarbonatos y carbonatos	Volumétrico (2320-B)	APHA, 1995
Calcio y magnesio	Volumétrico (3500-Ca, 3500-Mg)	APHA, 1995
Cloruros	Titulación con nitrato de plata y cromato de potasio (4500-C-IB)	APHA, 1995
Compuestos nitrogenados	Colorimetría (Kit API master kit test)	-
Conductividad eléctrica	Conductímetro con puente de Wheastone y celda de vidrio	Richards, 1990
pH	Potenciómetro Berman ®, modelo Hoffman Pinther Boswork	APHA, 1995
Relación absorción de sodio	Modelo matemático	Richards, 1990
Sodio y potasio	Flamómetro II (3500-Na, 3500-K)	APHA, 1995
Sólidos disueltos totales	Sólidos disueltos a 180 °C (2540-C)	APHA, 1995
Sulfatos	Espectrofotómetro, modelo Perkin Elmer 35 (4500-SO-4E)	APHA, 1995
Temperatura	Termómetro de mercurio	APHA, 1995

El SH incluyó plantas de lechuga con recirculación de agua en forma continua para obtener un ambiente con condiciones ideales para el cultivo; se aplicó fertilizante y ácido nítrico para controlar el pH. A partir del trasplante de las plántulas (cuatro semanas después de la siembra), el cultivo de lechuga se desarrolló durante 36 días (26 de junio a 31 de julio). Durante ese periodo, se midieron diariamente los compuestos nitrogenados en el SA (amoníaco, nitritos y nitratos); y en ambos sistemas, la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura del agua según los métodos señalados en el Cuadro 1. Para estimar la productividad de la lechuga, se estimaron las variables: peso de la planta y rendimiento del cultivo. El cual, se expresó en función del peso promedio de plantas (kg) seleccionadas al azar (Ríos et al., 2017).

Tratamiento estadístico de los datos

Los datos del peso de las lechugas cosechada en los SA y SH, se integraron en una base de datos en el programa Excel de Windows Versión 10. El valor promedio del peso de las lechugas en cada sistema, se determinó con la prueba *t* de student; se consideró un nivel de significancia de 5 %. En tanto que el rendimiento, se estimó mediante la cantidad de biomasa de lechuga generada por m².

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se concentran los resultados del análisis químico del agua, antes de la operación de los sistemas acuapónico e hidropónico. Cuyas estimaciones, se encuentran dentro de los estándares de calidad óptimos para estos sistemas de producción (Howard y Resh 1997).

Cuadro 2. Análisis químico de agua en sistemas acuapónico e hidropónico

pH	CE (S/m)	RAS	SDT	SO ₄	Cl	CO ₃	HCO ₃	Mg	K	Na	Ca
6.94	0.638	1.1	408.9	0.6	2	0	0.38	0.8	0.05	2.4	3.1

CE, conductividad eléctrica; RAS, relación absorción de sodio; SDT, sólidos disueltos totales.

Compuestos nitrogenados en el sistema acuapónico

La concentración de compuestos nitrogenados en el tanque del SA (previo al desarrollo del cultivo de lechuga), relaciona su contenido con el crecimiento y la actividad microbiana en el biofiltro. A partir de la tercera semana en la que se registró cinco ppm de nitratos, se notó un incremento que alcanzó un nivel máximo de 80 ppm. El cual, se consideró como aceptable para promover el desarrollo del cultivo (Figura 3).

Lo anterior, con base en lo señalado por Ako y Baker (2004) quienes mencionan que los valores de la concentración de compuestos nitrogenados, son indicadores de su disponibilidad para las plantas; cuyo valor superior a 40 ppm, indica una reserva suficiente de macro y de micronutrientes (excepto

el hierro). El amoníaco y el nitrito se mantuvieron durante todo el periodo de incubación en cuatro y cinco ppm, respectivamente.

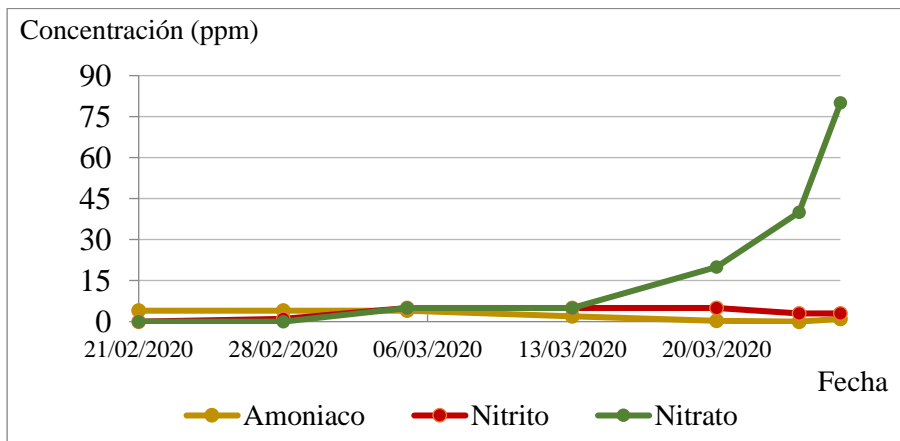


Figura 3. Concentraciones de compuestos nitrogenados (ppm) en el tanque del sistema acuapónico (previo al desarrollo del cultivo)

Las pruebas realizadas en el periodo de pre-siembra con esquejes de albahaca, confirmaron la teoría referente a que los microorganismos ya habían convertido el amoníaco a nitritos, y sobre la disponibilidad de nutrientes en el SA. Lo anterior, se observó porque las plantas de albahaca cosechadas presentaron raíz blanca, firme y sin mucosidad; color verde uniforme en todas las hojas que denotaron la sanidad de las plantas (Figura 4a). Eso indicó que las condiciones en el sistema eran las adecuadas para la siembra de las plántulas de la lechuga, ya que ambas plantas son hortalizas de hoja. Las plántulas (Figura 4b) se trasplantaron en la quinta semana de iniciada la germinación.



Figura 4. Plantas de albahaca obtenidas en la prueba preliminar del sistema acuapónico (a), plántulas de lechuga (b)

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos del agua en los sistemas acuapónico e hidropónico

Durante el desarrollo del cultivo de la lechuga (36 días), se tomaron mediciones diarias de compuestos nitrogenados en el SA; la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura del agua, en ambos sistemas. En el SA, el amoníaco alcanzó su máximo valor (2 ppm) en el sexto día, mismo descendió en el siguiente día a 1 ppm y fluctuó entre uno y 0.25 ppm hasta el día 19; a partir del cual, se mantuvo dicho valor hasta el día 36. El descenso en el contenido de amoníaco en el sistema a través del tiempo, se atribuyó a la volatilización del compuesto. La concentración de nitritos inicial fue de cero ppm, alcanzó un valor de 0.25 ppm en el intervalo de 4-13 días; luego, disminuyó hasta cero ppm y se conservó para el día 36. Los nitratos se registraron diariamente y en todo el periodo, con 80 ppm.

Al respecto, Ingle de la Mora et al. (2003) mencionan que se desconoce la razón por la que diferentes especies de peces, muestran sensibilidad diferente a la presencia de amoníaco: la Tilapia del Nilo tolera niveles altos (1.1 a 4.1 mg/l de N-NH₃; 1.1 a 4.1 en ppm como unidad equivalente) por periodos de tiempo prolongados (hasta 96 horas), con una mortalidad de 50 %. Sin embargo, la sensibilidad de esa especie varía según el tamaño de los peces y con la temperatura del agua (Abdalla et al., 1996). Cabe recordar, que el amoníaco del SA del presente estudio se mantuvo en cuatro ppm, lo que sitúa a dicho valor dentro de los límites de tolerancia de la especie, según Ingle de la Mora et al. (2003).

El SA y el SH suministraron cada uno, 275 litros de agua para el desarrollo de sus respectivos cultivos. La conductividad eléctrica en el SA se mantuvo en 0.7 S/m. En el SH inició con el valor 0.5 S/m, se incrementó a partir del tercer día hasta alcanzar un máximo de 3 S/m en el día 17; luego, ese valor descendió para mantenerse entre 2.1 y 2.6 S/m (Figura 5).

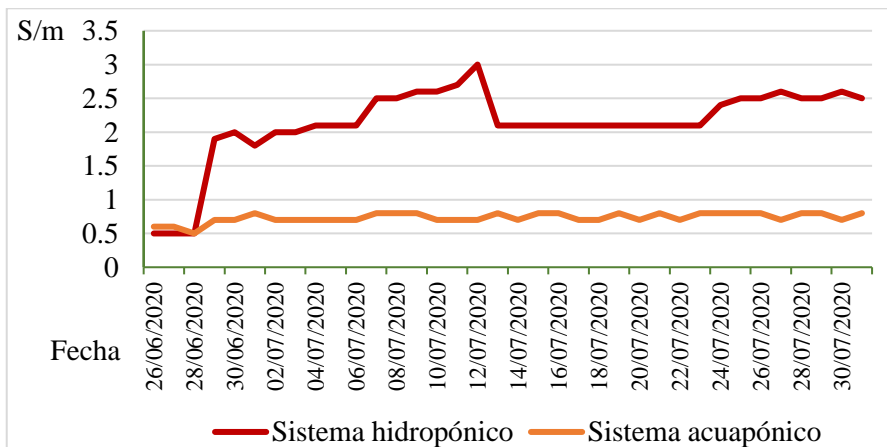


Figura 5. Conductividad eléctrica (S/m) del agua en los sistemas de producción

El pH en el SA fue tendiente a básico, a partir del día 10 se mantuvo cerca de ocho. El SH inició con un pH =8, en el transcurso del experimento disminuyó y se tornó ácido: el día 21 alcanzó el menor valor (5.5); luego, se mantuvo próximo a seis (Figura 6). Estudios similares en SA indican que el agua usada presenta un pH alcalino (> 8.0), alcalinidad total de 300 mg/l, 1.5 g/l de ion sodio(Na^+) y 300 mg/l de cloruros (Cl^-) (Arredondo et al., 1996). Dichos iones tienen un efecto antagónico contra el amoníaco: son menos tóxicos para los peces en cultivo, lo que favorece la calidad del agua y evita efectos fisiológicos adversos (Ingle de la M. et al., 2003).

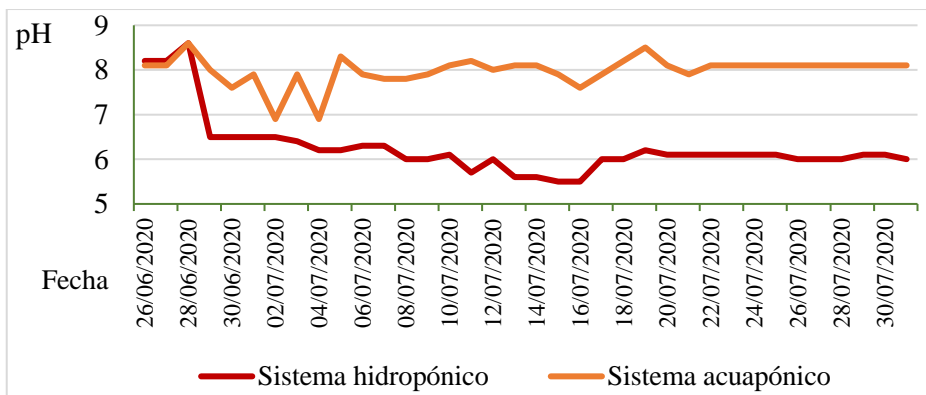


Figura 6. pH del agua en los sistemas acuapónico e hidropónico

La temperatura del agua fue similar en ambos sistemas: el intervalo de estableció entre 25 y 37 °C; con promedio de 30 °C (Figura 7). Aunque Ingle de la M. et al. (2003), mencionan que la Tilapia del Nilo requiere de temperaturas mayores a 23 °C para lograr una tasa de crecimiento óptima, en este experimento se notaron modificaciones en el comportamiento de los peces: en temperaturas altas, los peces rivalizaron y mostraron cambios de color de piel; en temperaturas menos cálidas, permanecieron pacíficamente.

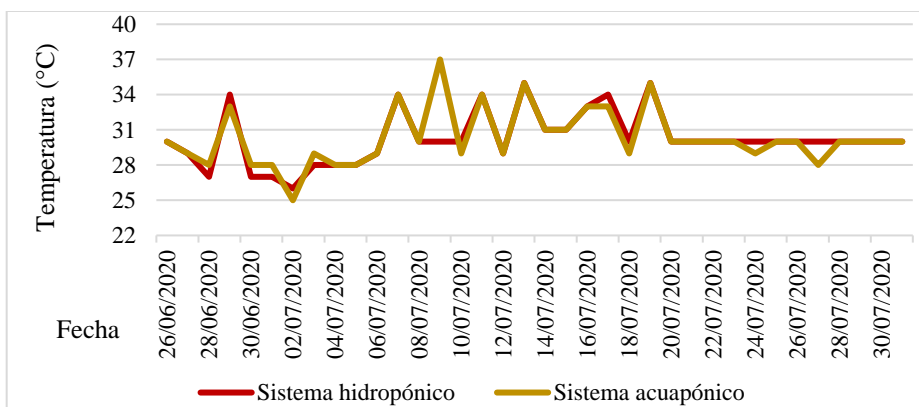


Figura 7. Temperatura (°C) del agua en los sistemas acuapónico e hidropónico

Las plántulas crecieron adecuadamente en ambos sistemas, como se observa en las figuras 8a- 8d.



Figura 8a, desarrollo del cultivo de lechuga en el sistema acuapónico; 8b, 8c y 8d, en el sistema hidropónico.

Rendimiento de la lechuga en los sistemas acuapónico e hidropónico

Con un nivel de significancia de 0.05, la prueba *t* de student indicó el peso promedio de las lechugas equivalente a 0.056 kg (\pm 0.005 kg) en el SA, y 0.097 kg (\pm 0.007 kg) en el SH.

El cultivo de lechuga en el SH tuvo mayor rendimiento (1.847 kg/m²) en comparación con el SA (1.08 kg/m²), lo que se atribuyó a que el SH contó con los nutrientes necesarios desde el inicio del cultivo, debido al empleo de fertilizante. También se estimó, que el calor influyó en el comportamiento de los peces en el SA. Es decir, las temperaturas altas provocaron el menor consumo de alimento de los peces y, en consecuencia, en el aporte de desechos orgánicos al agua. La cual, al tener menor cantidad de nutrientes, afectó la productividad y el rendimiento del cultivo de lechuga.

Existen pocos estudios que relacionen directamente un sistema de tipo NFT acuapónico con otro hidropónico y que, a su vez, midan parámetros de producción y rendimientos en lechugas entre dichos sistemas (Lennard & Ward, 2019). Sin embargo, Monsees et al. (2019) observaron que el peso fresco de la lechuga entre el SA y un control hidropónico convencional, generó un número diferente de hojas y de área foliar en las cabezas: una diferencia 32 % menor en la producción del control hidropónico, con respecto al acuapónico. Los autores atribuyeron el rendimiento menor de la planta a las altas temperaturas, ya que realizaron el experimento en junio, cuando la temperatura ambiental promedio fue de 29 °C.

Según Hernández y Hernández (2005), la temperatura óptima para el desarrollo de la lechuga es de 18-23 °C durante el día y 7-15 °C durante la noche. En el presente estudio, el cultivo de lechuga y los peces se desarrollaron bajo las condiciones climáticas de la región (temperatura

ambiental de 30-37 °C). Por lo que, la temperatura ambiental también pudo constituirse como un factor limitante en el crecimiento del cultivo, lo que explica la obtención de lechugas con tamaño reducido.

Al respecto, Lennard y Ward (2019) relacionaron las altas temperaturas con niveles bajos de oxígeno disuelto en agua, lo que afecta la alimentación de los peces, el pH del agua y la producción de compuestos nitrogenados; por ende, en la calidad de las lechugas. Dichos investigadores, sembraron la lechuga en diferentes épocas del año (invierno, primavera y verano), cuando se registraron temperaturas máximas de 27 °C. Los resultados de sus estudios indicaron que los parámetros evaluados en el sistema NFT de acuaponía, disminuyeron en los meses de mayor calor, en comparación con el SH de tipo NFT; en los meses de menor temperatura, los niveles de producción del SA se equipararon o superaron a aquellos del SH.

Rendimiento de los cultivos

Lennard y Ward (2019) consiguieron una producción de 15 lechugas/m² en cama de siembra, lo que constituye un rendimiento mayor en correspondencia con un cultivo tradicional; en el actual estudio, se obtuvieron 19 lechugas/m², lo que supera los valores obtenidos por dichos investigadores. Según Alpízar (2004), el rendimiento de ese cultivo en suelo, genera en forma tradicional una productividad de seis a ocho lechugas/m². Así, los resultados de Lennard y Ward (2019) y los propios, coinciden con lo que menciona Wu et al. (2019) al señalar que el nivel de producción es mejor en los SA y en los SH, en comparación con los sistemas de siembra en tierra.

Por otro lado, Jiménez (2020) demostró que el vínculo entre la superficie de cultivo de plantas y el cultivo de peces (ratio) es de proporción ± 10:1, según la producción diaria de desechos por parte de los organismos: lo que implica que, por cada m³ de agua de cultivo de peces, se incorpora al sistema entre dos y 10 m² de área de cultivo hidropónico.

Los resultados obtenidos en esta investigación, demostraron que el SH generó mayor peso y rendimiento en el cultivo de la lechuga (0.097 ± 0.007 kg; 1.85 kg/m²), en comparación con el SA (0.056 ± 0.005 kg; 1.08 kg/m²). En tanto que ambos sistemas suministraron 275 litros de agua (cada uno), en el desarrollo de sus respectivos cultivos. De lo anterior, se desprende que los SA y los SH permiten el ahorro de importantes volúmenes de agua en comparación con un sistema tradicional de siembra, aunque se estima, que el porcentaje correspondiente depende del tipo de sistema que se implemente y de las necesidades hídricas de la hortaliza. Sin embargo, Gilmour et al. (2019) establecen que los SH favorecen el aprovechamiento del agua a causa de su recirculación en el sistema, generando un ahorro de hasta 95 %, en correspondencia con aquellos cultivos que crecen en campo.

Los SA también generan amplios beneficios frente a la acuicultura o a los cultivos hidropónicos (Rakocy et al., 2006; Nelson, 2008). Uno de ellos radica en la obtención de dos fuentes de ingreso, los percibidos por las ventas del cultivo vegetal y del cultivo de los peces, mientras que se comparte la infraestructura y la inversión para el establecimiento de ambos.

Según Lobillo et al. (2014), el SA presenta niveles productivos similares o superiores a la hidroponía y a la acuicultura por separado, así como la obtención de productos más saludables ya que en caso de registrarse patologías en los SA, no se utilizan tratamientos químicos convencionales: la mayor parte de productos fitosanitarios perjudican a los peces, en tanto que los compuestos químicos para tratar ictiopatologías, afectan a las plantas.

Así, los SA y los SH suponen ventajas económicas y medioambientales, mismas que estriban en el ahorro de agua y la disminución del impacto ambiental de los efluentes, ya que el contenido de nitratos y fosfatos es menor debido a que son parcialmente asimilados por las plantas.

Conclusiones

El sistema hidropónico generó mejores resultados (peso promedio de 0.097 kg por cabeza y rendimiento de 1.85 kg/m²), en comparación con el sistema acuapónico (peso promedio de 0.056 kg por individuo y rendimiento de 1.08 kg/m²). Ambos sistemas demostraron que son opciones de producción agrícola con rendimientos óptimos y ecológicamente viables, debido a la recirculación del agua y bajo impacto ambiental, en comparación con los sistemas de cultivo tradicionales. Los objetivos del estudio se cumplieron al determinar el peso promedio y el rendimiento del cultivo de la lechuga en los sistemas acuapónico e hidropónico. Los resultados obtenidos indican que los sistemas acuapónicos e hidropónicos se pueden implementar con éxito, cerca de los centros poblacionales en regiones de climas adversos, como es el caso del estado de Sonora, México. Sin embargo, para generar mayor conocimiento en el tema de los sistemas acuapónicos e hidropónicos, y complementar los resultados del presente estudio, se recomienda efectuar estudios relacionados con la cantidad de biomasa generada en peces, establecimiento de los niveles de tolerancia de la Tilapia del Nilo con respecto al amonio y nitritos según la edad, monitoreo del gasto hídrico y su comparación con los sistemas de cultivo de lechuga tradicionales.

Referencias:

1. Abdalla, F., McNabb, C., & Batterson, T. (1996). Ammonia dynamics in fertilized fish ponds stocked with Nile Tilapia. *The Progressive Fish Culturist*, 58(1), 117-123.
2. Acosta, E. Z., & Naranjo, R. A. (2011). Discursos y conflictos en la gestión de los recursos hídricos: agricultores, ambientalismo y

- sostenibilidad. Una aportación desde la antropología social para la gobernanza del agua. *Revista de Antropología Social*, 20,137-170.
https://doi.org/10.5209/rev_RASO.2011.v20.36265
3. Aguilar, M. J., Soto, D., & Brummet, R. (2018). Zonificación Acuícola, selección de sitios y áreas de manejo bajo el enfoque ecosistémico a la acuicultura. FAO.
 4. Ako, H., & Baker, A. (2004). Nutrient fluxes in aquaponics systems. Final Report for OW10-301.
 5. American Public Health Association (APHA). (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition, American Public Health Association Inc., New York.
 6. Alpízar, A. L. (2004). Hidroponía cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
 7. Arredondo, F. J. L., Bolaños, C. V., Campos, V. R., Garduño, A. H. & Villareal, L. E. (1996). Water quality analysis in a recirculating-water system for aquaculture in Mexico City. En: Vogel, E., Abdelghani, A., Valladares, J., Aguilera, J., & Chapa, L. (Eds). *Second Inter-American Environmental Congress*. Págs. 59-62. ITESM-RICA-OEA.
 8. Ávila, G. P. [Ed.]. 2002. *Agua, Cultura y Sociedad*. Instituto Mexicano de Tecnología del agua.
 9. Bakiu, R., & Shehu, J. (2014). Aquaponic systems as excellent agricultural research instruments in Albania. *Albanian Journal of Agricultural Sciences, Special Edition*, 385–389.
 10. Baumann, M., Kuemmerleaf, T., Elbakidze, M., Ozdogana, M., Radeloffa, V., Keulerc, N., Prishchepov, A., Kruhlov, I., & Hostert, P. (2011). Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine. *Land Use Policy*, 28(3), 552-562.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.11.003>
 11. Caló, P. (2011). *Introducción a la Acuaponía*. Ministerio de agricultura, Ganadería y Pesca.
 12. Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (2001). A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture research*, 32(1), 349-360.
<https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00027.x>
 13. Colorado, F., Montañez, I., Bolaños, C., & Rey, J. (2013). Crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo cubierta en la sabana de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 121129.
 14. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). *La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible*. Naciones Unidas.
 15. Cutiño V. B., Imeroni, J. C., & Sanzano, P. (2018). *Acuaponía como alternativa productiva social*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Veterinarias, Buenos Aires, Argentina.

16. de Santana, T. A., Oliveira, O. S., Silva, L. D., Laviola, B. G., de Almeida, A. A. & Gomes, F. P. (2015). Water use efficiency and consumption in different Brazilian genotypes of *Jatropha curcas* L. subjected to soil water deficit. *Biomass Bioenergy*, 75(1), 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.008>
17. Diver, S. (2006). Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service, 1-26.
18. Escobar, H., de Ovando, L. S., Contreras, D., Baginsky, C., Arenas, J., & Silva, H. (2018). Efecto de la disponibilidad de agua de riego en el intercambio gaseoso, rendimiento de semillas, biomasa y eficiencia del uso del agua en dos fenotipos de chíca establecidos en el valle de azapa, arica, chile. *Interciencia*, 43(1), 55-61.
19. Estrada, N., Hernández, A., Ruiz, J., Zavala, I., Romero, C., Cruz, E., Juárez, C., Domínguez, D., & Campos, A. (2018). Stochastic modelling of aquaponic production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) with lettuce (*Lactuca sativa*) and cucumber (*Cucumis sativus*). *Aquaculture research*, 49(12), 3723-3734. <https://doi.org/10.1111/are.13840>
20. Figueroa, J. (2007). Análisis de factibilidad técnica en el cultivo intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares de geomembrana con cultivo hidropónico de lechuga flotante en estanques de madera, bajo condiciones climáticas del Estado de Sonora. Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal de Sonora, Sonora, México.
21. Fimbres, I. (2007). Análisis de factibilidad del cultivo intensivo de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares de geomembrana, bajo las condiciones del Estado de Sonora. Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal de Sonora, Sonora, México.
22. Foley, J. A., Defris, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin F., Coe M. T., Daily, G. C., Gubbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. T., Monfreda C., Patz, J. A., Prentice, C. I., Ramankutty, N. & Snyder, P. (2005). Global Consequences of Land Use, *Science*, 309(5734), 570-574.
23. García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. (A las condiciones de la República Mexicana). UNAM. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
24. García, U. M. (2010). Acuicultura rural en la Costa Sur de Jalisco: caso de estudio. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(2), 29-48.
25. Gilmour, D., Bazzani, C., Nayga, R. & Snell, A. (2019). Do consumers value hydroponics? Implications for organic certification. *Agricultural Economics*, 50(1), 707– 721. <https://doi.org/10.1111/agec.12519>
26. Gobierno del Estado de Sonora. (2017-18-12). Tiene Sonora potencial para desarrollo de acuicultura marina y dulceacuícola: IAES-SAGARHPA. IAES. Instituto de Acuicultura del estado de Sonora.

27. González, R. (2006). Huerta casera: manual de hidroponía popular. Editorial Universidad Estatal a Distancia.
28. Gross, A., Boyd, C. E., & Wood, C. W. (2000). Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. *Aquacultural Engineering*, 24(1), 114.
29. Gutiérrez, V., Lagunas, A., Evaristo, E., Serna, J. & López, M. (2014). El sistema de tutorado y poda sobre el rendimiento de pepino en ambiente protegido. *PRISMA Database*, 39(10), 712-717.
30. Ingle de la M., G., Villareal-Delgado, E. L., Arredondo-Figueroa, J. L., Ponce-Palafox, J. T., & Barriga-Sosa, I. de los A. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica*, 13(4), 247-253.
31. Jiménez, O. (2020). Acuaponía: una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos. III Congreso virtual internacional sobre economía social y desarrollo local sostenible.
32. Lagler, K. F., Bardach, J. E., Miller, R. R., & Pasi6n, M. (1984). *Ictiología*. AGT Editor.
33. Lennard, W. A., & Ward. (2019). A Comparison of Plant Growth Rates between an NFT Hydroponic System and an NFT Aquaponic System. *Horticulturae*, 5(2), 27. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5020027>.
34. Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2005). A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*, 12(1), 539-553. <https://doi.org/10.1007/s10499-005-8528-x>
35. Lobillo, J. R., Fernández-Cabanas, V. M., Carmona, E., & Cand6n, F. J. (2014). Manejo basico y resultados preliminares de crecimiento y supervivencia de tencas (*Tinca tinca* L.) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) en un prototipo acuap6nico. *ITEA*, 110(2), 142-159. <http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.009>
36. Malcolm J. (2005). *Backyard aquaponics. A guide to building an aquaponic system*. Joel Malcolm.
37. Martínez, M. (2013). Indicadores como informaci6n base para el análisis del desempeño ambiental: huella hídrica, huella ecol6gica y huella de carbono. Tesis de Maestría, Universidad Aut6noma de Nuevo Le6n, Nuevo Le6n, México.
38. Medina, A., & Arijo, S. (2019). Acuaponía. La producci6n circular de alimentos terrestres y acuáticos, Mipeces.
39. Monsees, H., Suhl, J., Maurice, P., Kloas, W., Dannehl, D., & Wurtz, S. (2019). Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS One*, 14(6), e0218368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218368>

40. Nelson, R. L. (2008). *Aquaponic Food Production*. Nelson & Pade Inc. Press.
41. Noruega, T. A. (2019). Bases teórico-metodológicas para el diseño de sistemas agroecológicos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(1), 273-293.
42. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura Oportunidades y desafíos*. FAO.
43. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). *La FAO en México. Más de 60 años de cooperación 1945-2009*. FAO.
44. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *El estado mundial de la pesca y la agricultura*. FAO.
45. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019-07-11). *Cada gota cuenta*. Consulta 11 de Octubre, 2019. <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1113809/>
46. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Evaluación y planificación del sistema agroalimentario ciudad-región*. FAO.
47. Parker R. (2002). *Aquaculture science*. Editorial Delmar.
48. Pavlis, R. (2018). *Aquaponics in a Natural Pond: Take advantage of the nutrients in your fish pond by floating a vegetable garden on top*. *Mother Earth News*, (288), 21-25.
49. Pinheiro, I., Siqueira, R., Nascimento, F., Valdemiro, L., Fett, R., Oliveira, A., Magallón, F., & Quadros, W. (2020). *Aquaponic production of Sarcocornia ambigua and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities*. *Aquaculture*, 519, 734918. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734918>
50. Rakocy, J. E. (2006). *Questions and Answers*. *Aquaponics Journal*, 4(1), 8-11.
51. Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz R. C. & Thoman, E. S. (2004). *Update on tilapia and vegetable production in the UVI Aquaponic System*. En *New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. (Held September 12-16, págs. 676690). Manila, Philippines.
52. Rakocy, J. E. (1989). *Tank culture of Tilapia*. Southern Regional Aquaculture Center, Publication 282.
53. Rakocy, J. E., Masser, M. P., Losordo, T. M. (2006). *Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture*. Southern Regional Aquaculture Center. Publication 454.
54. Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez, D. & Hurtado, H. G. (2009). *Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish lechuga*. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 154-170.

55. Ríos, F, J. L., Torres, M. A., & Cantú, J. E. (2017). Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. *Ciencia Ergo Sum*, 24(2), en línea.
56. Ross, N. (2016). *Hidroponía: La guía completa de hidroponía para principiantes*. Editorial Michael van der Voort.
57. SADER (2019-23-06). Conozcamos un poco más sobre... la lechuga. Gobierno de México.
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/conozcamos-un-poco-mas-sobrela-lechuga?idiom=es>
58. SAGARHPA (2018-20-04). En 2017 aumentaron las exportaciones agrícolas de Sonora 22.0 %. Gobierno de México.
59. SAGARPA. (2015). Estudio para la determinación de esquemas de mejora para rendimiento en las granjas de producción acuícola de tilapia. Reporte Ejecutivo. SAGARPA.
60. SIAP. (2016-01-12). Somos noveno productor de hortalizas a nivel mundial. Gobierno de México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
61. Smill, V. (1997). Global population and the nitrogen cycle. *Scientific American*, 76-81.
62. Steiner, A. A. (1961). A universal Method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant and soil*, 15(1), 134-154.
<https://doi.org/10.1007/BF01347224>
63. Urbalejo, J. 2006. Análisis de factibilidad del cultivo integral de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*) con cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicum esculentum*), bajo condiciones controladas en el Estado de Sonora. Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal de Sonora México.
64. Vilches, A., Pérez, D., Toscano, J. C., & Macías, O. (2014). Desarrollo rural y Sostenibilidad. Programa de acción legal. En línea. OEI.
65. Viveros, F. M. L., Valenzuela, N. L., Rodríguez, G., Javier Aguado, Ehsan, M., Hernández, V. M. & Maza, A. V. (2018). Utilización del ion amonio en el desarrollo de plántulas de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en condiciones de hidroponía. *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de America*, 42(2), 106-110.
66. Wang, H., Qiub, F. & Ruan, X. (2016). Loss or gain: A spatial regression analysis of switching land conversions between agriculture and natural land. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221(1), 222-234.
67. Wilson, A. (2018). Los hidropónicos: guía suprema de los hidropónicos para salvar tiempo y dinero. Editorial Adidas Wilson.
68. Wu, F., Ghamkhar, R., Ashton, W., & Hicks, A. L. (2019). Sustainable Seafood and Vegetable Production: Aquaponics as a Potential Opportunity in Urban Areas. *Integrated Environmental Assessment Management*, 15(6), 832-843. <https://doi.org/10.1002/ieam.4187>