

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Especialidad en Desarrollo Sustentable

HUELLA HÍDRICA EN LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE
LECHUGA (*Lactuca sativa*): ACUAPONÍA VERSUS HIDROPONÍA

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el TÍTULO de

Especialidad en Desarrollo Sustentable

Presenta:

Angel Carlos Sánchez Mexia

Directora de tesina:

Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez

Co-Directora:

Dra. Ana Laura Bautista Olivas

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO

Dra. Clara Rosalía Álvarez Chávez
Directora

Dra. Ana Laura Bautista Olivas
Co-Directora

Dr. Héctor Manuel Guzmán Grijalva
Secretario

Dra. Juana Alvarado Ibarra
Vocal

Dr. Javier Esquer Peralta
Suplente

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el amor recibido, la paciencia, pero sobre todo la fe que me brinda mi señora madre Rosario de la Cruz Mexia en todo momento. Gracias, eres fuente de inspiración y definitivamente pieza clave en mi desarrollo profesional y personal. Te admiro y respeto por siempre, te amo.

A mi señor padre Saul Sánchez por ser un pilar inquebrantable en nuestra familia y ser un excelente ser humano gentil y amoroso y un excelente ejemplo para mí y mi hermano Gustavo Sánchez.

A mis directoras de tesis la dra. Clara Rosalía y dra. Ana Laura Bautista por ser fuente de apoyo incondicional y demostrarme que no existen imposibles.

A mi colega Jesús Ernesto Ruiz por desarrollar esta brillante idea y permitirme ser parte de ella, eres un excelente ser humano..

A mis profesores del Posgrado en Sustentabilidad en especial al Dr. Javier Esquer por desempeñar su puesto de coordinador con el mayor respeto y liderazgo.

A la generosa y poderosa Universidad de Sonora.

A la M.C. Karla Patricia García de Microgreens NFL por el apoyo oportuno en la etapa inicial del cultivo y las asesorías posteriores en la experimentación del proyecto, al Dr. Juan Carlos Gálvez jefe de división de Ciencias Biológicas y de la Salud, a Reyna Isabel de Vicerrectoría por la especial atención y seguimiento del proyecto, a Rene y Rafael por las estructuras, Melquisedec, a la empresa GEMSO por donar más de 200 peces al proyecto y la excelente atención que nos brindaron en su granja, a plásticos Resk, A Kalamich, a Toño, al M.C. David Fernández.

Y a todo lector que se interese por este trabajo de investigación.

Crear una solución para la escasez de agua es hacer que lo imposible se vuelva posible. Mantenerse firme poniendo todo tu corazón en una meta para que de esta forma tu corazón esté presente en tus acciones, no importa que tan difícil sea el camino o que tan grande sea la escasez de agua, continua avanzando hacia tu meta porque estas comprometido de corazón.

Y si, Sonora es nuestro hogar, esta tierra es mi único hogar y con ella me comprometo con todo mi corazón ¿y ustedes ?

“La habilidad de aprender no está sujeta, puede cambiar con tu esfuerzo”

RESUMEN

La agricultura sostenible apunta hacia el uso racional de los recursos naturales particularmente del suelo y el agua, por lo anterior el objetivo de este trabajo es contribuir a la gestión sustentable del recurso hídrico en la producción agrícola del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) mediante la comparación de la Huella Hídrica (HH) de un sistema acuapónico e hidropónico establecidos en una zona desértica. En esta investigación se establecieron dos sistemas uno acuapónico y otro hidropónico en una casa sombra durante periodo de verano en el desierto de Sonora. La estimación de la HH de ambos sistemas de producción se realizó obteniendo la HH del inventario de los insumos requeridos en cada uno de los cultivos experimentales reportada en la literatura y sumando los litros gastados durante el experimento. El sistema acuapónico tuvo una HH de 599 865.81 L y el hidropónico de 598 543.92 L para 19 plantas en cada sistema. El peso promedio de la lechuga cosechada fue de 0.097 kg (\pm 0.007 kg) y 0.056 kg (\pm 0.005 kg) hidropónico y acuapónico respectivamente, resultando estadísticamente significativa según la prueba *t de student* con un nivel de significancia del 5 %. Se concluyó que el sistema acuapónico tuvo mayor HH en su producción. Ambos sistemas contribuyen con la agenda 2030 en los objetivos 2, 6, 9, 12, 14 y 15 en diferente proporción.

ABSTRACT

Sustainable agriculture aims towards the rational use of natural resources, particularly soil and water, therefore the objective of this work is to contribute to the sustainable management of water resources in agricultural production of lettuce (*Lactuca sativa*) by means of the comparison of the Water Footprint (HH) of an aquaponic and hydroponic system established in a desert area. In this research, two systems were established, one aquaponic and the other hydroponic, in a shade house during the summer period in the Sonora desert. The estimation of the HH of both production systems was carried out by obtaining the HH of the inventory of the inputs required in each of the experimental crops reported in the literature and adding the liters expended during the experiment. The aquaponic system had a HH of 599 865.81 L and the hydroponic one of 598 543.92 L for 19 plants in each system. The average weight of the harvested lettuce was 0.097 kg (\pm 0.007 kg) and 0.056 kg (\pm 0.005 kg) hydroponic and aquaponic respectively, resulting statistically significant according to the student's t test with a significance level of 5%. It was concluded that the aquaponic system had higher HH in its production. Both systems contribute to the 2030 agenda in goals 2, 6, 9, 12, 14 and 15 in different proportions.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
Índice de contenido	8
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVO ESTRATÉGICO	13
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
IV. ANALISIS LITERARIO	14
4.1 Huella hídrica en la agricultura	14
4.2 Sistema Acuapónico e hidropónico	15
4.3 Producción Agroacuícola: lechuga y tilapia en territorio nacional	18
V. METODOLOGÍA	20
5.1 Tipo de estudio	20
5.2 Diseño Metodológico	20
Cultivo de lechuga	20
Huella hídrica	21
5.3 Alcance	21
5.4 Hipótesis y/o preguntas de investigación	22
5.5 Objeto de estudio	22
5.6 Selección del objeto de estudio o del lugar que ubica al objeto de estudio	22
5.7 Instrumentos de manejo de datos	22
VI. RESULTADOS	24
6.1 Análisis literario	24
6.2 Establecimiento de los sistemas acuapónicos e hidropónicos	24
6.3 Biofiltro: Curva de crecimiento de microbiota para sistema acuapónico	26
Figura 1. Relación de crecimiento microbiano con la producción de compuestos nitrificantes	26
6.4 Prueba preliminar con albahaca del sistema acuapónico	27

6.5 Germinación de lechuga en cuarto de producción	28
6.6 Siembra de lechuga	28
6.7 Características del cultivo: crecimiento y producción	30
6.8 Resultados de monitoreo durante experimentación	30
Tabla 1. Monitoreo diario sistema acuapónico	31
Fuente: Elaboración propia	31
Tabla 2. Monitoreo diario sistema hidropónico	32
6.9 Comparación de la huella hídrica del sistema hidropónico y acuapónico	33
Tabla 3. HH de los materiales del sistema acuapónico	33
Tabla 4. HH de los materiales del sistema hidropónico	34
Figura 2. HH total de la instalación de los materiales de los sistemas	35
Figura 3. Litros utilizados durante producción	36
Figura 4. HH total de los sistemas durante el periodo de experimentación	36
6.10 Potencial aporte al desarrollo sustentable.	37
VII. DISCUSIONES	38
VIII. CONCLUSIONES	42
IX. REFERENCIAS	43
X. ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Monitoreo diario sistema acuapónico.....	31
Tabla 2. Monitoreo diario sistema hidropónico.....	32
Tabla 3. HH de los materiales del sistema acuapónico.....	33
Tabla 4. HH de los materiales del sistema hidropónico.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación de crecimiento microbiano con la producción de compuestos nitrificantes.....	26
Figura 2. HH total de la instalación de los materiales de los sistemas.....	35
Figura 3. Litros utilizados durante producción.....	36
Figura 4. Figura 4. HH total de los sistemas durante el periodo de experimentación.....	36

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha incrementado el interés y la preocupación por los recursos naturales con motivo del grave y rápido deterioro observado por el uso desmedido de ellos y las pocas medidas implementadas en favor de su conservación en un contexto actual de la agricultura caracterizada por la existencia de suelos degradados, baja productividad por sistemas de manejo poco eficientes y del mal uso del agua, ocasionando escasez (Ávila, 2002). Por lo tanto, es indiscutible que se debe implementar métodos de agricultura que promuevan biodiversidad, resiliencia y elementos para una sostenibilidad ecológica y social; y en la práctica, mayor producción de alimentos comprendiendo así la necesidad de un nuevo modelo o forma justa de agricultura (Noruega, 2018).

La importancia de la agricultura justa o sostenible destaca por aportar a largo plazo a mejorar la calidad ambiental y los recursos básicos de los cuales depende la agricultura, satisface las necesidades básicas de alimentos, es económicamente viable y mejora la calidad de vida del productor y la sociedad conduciendo no solo a una competencia justa sino también a un grado más elevado de protección ambiental (Aguilar, Soto & Brummett, 2018). La acuicultura es una de las actividades con mayor potencial en los últimos años en México; arroja beneficios sociales y económicos con elevado valor nutricional y costos accesibles (Vilches et al., 2014), es una fuente de salud y también de riqueza. Al cultivar organismos acuáticos de manera programada se procura disminuir la presión de pesca en los mares y ríos, además de reducir otro tipo de producciones animales terrestres menos sustentables proveyendo otra fuente de proteína animal (FAO, 2014).

Los sistemas de producción de cultivos hidropónicos y acuapónicos resultan ser eficientes en el uso de los recursos naturales, estos últimos cultivan peces y plantas en un sistema de recirculación de agua utilizando bacterias para la bioconversión de compuestos tóxicos (Bernstein, 2011). En la actualidad existen herramientas que proveen de diagnósticos y prometen soluciones para el mejor manejo del vital líquido (Llamas y Martínez, 2009) como lo es la HH, este un indicador del uso de agua dulce que puede considerarse como un indicador integral de la apropiación de los recursos hídricos ya que se utiliza para medir el volumen total usado para producir bienes y que son consumidos por un individuo o comunidad (Oltra, 2018).

La finalidad del presente trabajo de investigación fue estimar la huella hídrica de los instrumentos y materiales esenciales para la instalación de un sistema de producción de lechuga acuapónico e hidropónico en un clima árido para hacer una comparación entre ellos y ver de una manera clara que proceso tiene un menor impacto en el recurso del vital líquido y resulta ser adecuado para las condiciones climatológicas que presenta el estado de Sonora.

El capítulo 2 y 3 describe el objetivo estratégico y los objetivos específicos del presente trabajo donde se busca contribuir potencialmente al uso y gestión sustentable del recurso hídrico en la producción de lechuga. En el capítulo 4 se ubica el análisis que se realizó en la literatura que muestra las ventajas de los procesos, la huella hídrica como herramienta para la sustentabilidad y una extensa descripción del proceso acuapónico e hidropónico. El capítulo 5 describe el diseño de la metodología del experimento, el establecimiento de los sistemas, el proceso de cultivo siembra y mantenimiento de lechugas, el cálculo de la huella hídrica y los tratamientos que se le dieron a los datos y resultados obtenidos.

En el capítulo 6 se exponen los resultados del análisis literario del establecimiento del sistema acuapónico e hidropónico, de la germinación, siembra y mantenimiento de los cultivos en cuarto de producción, la estimación y comparación de la HH entre los sistemas y los resultados del monitoreo durante la experimentación, los pesos promedio fueron de 0.097 kg (± 7.6) y 0.056 kg (± 5.4) para el sistema hidropónico y acuapónico respectivamente. El capítulo 7 ofrece las discusiones de los resultados obtenidos y se comparan con trabajos de otros autores, el cultivo de lechuga en el sistema hidropónico tuvo mayor producción y rendimiento.

El capítulo 8 muestra las conclusiones de la presente investigación enfocándose en que la HH del sistema hidropónico fue menor que la HH del sistema acuapónico debido al requerimiento de alimento para peces. El sistema hidropónico tuvo mayor rendimiento de lechugas. Posteriormente en el capítulo 9 se presenta una lista detallada de recomendaciones surgidas durante la experimentación realizada. El capítulo 10 muestra la lista de referencias utilizadas en este documento. Por último, se cuenta con una sección complementaria de anexos con imágenes de los insumos, instrumentos, materiales y el proceso durante el periodo de experimentación.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

1. Contribuir potencialmente al uso y gestión sustentable del recurso hídrico en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) mediante la comparación de un sistema acuapónico e hidropónico en una zona desértica.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar el estado del arte de los sistemas acuapónicos e hidropónicos como alternativa sustentable en la producción de hortalizas y su huella hídrica.
2. Establecer un sistema experimental de producción de lechuga acuapónico e hidropónico.
3. Estimar la huella hídrica en la producción experimental de lechuga en el proceso acuapónico e hidropónico.
4. Comparar la huella hídrica de los sistemas experimentales estudiados, su rendimiento de producción y potencial aporte al desarrollo sustentable.

IV. ANALISIS LITERARIO

4.1 Huella hídrica en la agricultura

El agua es un gran regalo de la naturaleza y es una necesidad esencial de todos los organismos vivos para sobrevivir en la tierra (Kumar y Joshiba, 2019) y la visión de la humanidad sobre los impactos en este recurso resultado de sus acciones en el mundo es deficiente; ignora los efectos que ocurrirán en el medio ambiente y desconoce los cambios necesarios para adaptarse ante escenarios futuros del calentamiento global (Watson, 2015). Según la UNESCO (2016) como resultado del aumento del nivel del mar inducido por el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos para 2050 al menos una de cada cuatro personas vivirá en un país con escasez crónica o recurrente de agua dulce. Además, el consumo sustentable del recurso está amenazado debido al agotamiento generalizado de las corrientes subterráneas, la contaminación de las aguas superficiales y los impactos del cambio climático (Gleeson et al., 2012). En consecuencia, la disminución de la disponibilidad del fluido en muchas partes del mundo puede producir una crisis mundial en un futuro próximo si no se toman medidas adecuadas de conservación y adaptación del vital líquido (Poudel y Duex, 2017).

El cambio climático trae consigo diferentes situaciones que comprometen la disponibilidad de agua dulce y la calidad del suelo haciéndolos propensos a sufrir cambios negativos en su composición (Stadler y Houghton). La escasez y la falta de calidad del suelo son dos de los principales problemas a nivel mundial ocasionados por el mal uso de tierras agrícolas en los sectores industriales y domésticos (Acosta y Naranjo, 2011). Una visión importante en la agricultura además del agua es el estudio de los cambios en el uso y conversión de la tierra agrícola, la cual ha recibido considerable atención (Wang, Qiu y Ruan, 2016) debido a las pérdidas de suelo productivo del mal manejo del vital líquido pues ocasiona que las tierra se vuelvan infértiles (Wang, Qiu, Ruan, 2016, Francis et al., 2012, Irwin y Bockstael, 2007) y origina el abandono de tierras por la falta de rentabilidad (Baumann et al., 2011).

Los cambios en el uso del suelo asociados con el sistema de producción agrícola tradicional afectan fuertemente los ecosistemas, la biodiversidad y en última instancia el bienestar humano (Foley et al., 2005) y ocasiona pérdida de agua por medio del escurrimiento, la evapotranspiración y el consumo

por las malezas (Escobar et al., 2018); además de sequía y salinidad, que se encuentran entre los factores abióticos más importantes que limitan la capacidad productiva de plantas en el suelo (de Santana et al., 2015).

Atendiendo estas deficiencias la huella Hídrica (HH) es un indicador que ayuda a evidenciar por medio de mediciones la presión que sufre el líquido por el grado en que es consumido en un territorio (Gandini et al., 2016). Ésta se define como el volumen de agua dulce total que se utiliza directa e indirectamente para producir un servicio (Shao y Chen, 2018). Debido a que la HH se basa en los bienes y servicios consumidos, se puede calcular para diferentes niveles de actividad del consumidor, es decir, para individuos, hogares, regiones e incluso en el sector de la agricultura sostenible (Fulton, Cooley y Gleick, 2014).

La HH se divide en tres colores siendo la HH azul que mide el volumen de agua dulce extraída de un cuerpo de agua superficial y evaporada en el proceso productivo, la HH gris que mide el volumen de agua contaminada y la HH verde que representa el volumen de agua de precipitación que es evaporada en el sistema de producción (FAO, 2019). La HH de los productos agrícolas tiene como objetivo desarrollar nuevas estrategias para resolver la escasez de agua en el sector agrícola y ayuda a establecer reglas efectivas para combatir factores que afectan la calidad del agua (Kumar y Joshiba, 2019).

La HH informa a los consumidores y empresas de los volúmenes de agua que se necesitan para la elaboración de un bien o servicio en todas las etapas de la cadena de producción (Martínez, M., 2013). Este indicador promueve el cambio del consumidor hacia productos con menor HH (Manson, 2014). Por lo anterior, la HH se considera una herramienta eficaz de análisis de sistemas para la sostenibilidad (Shi et al., 2017), generando respeto hacia la biodiversidad y atiende las malas gestiones agrícolas tradicionales (Matarín y Morales, 2018). Se espera que la HH permita al sector agrícola ejercer un menor impacto en cuerpos de aguas estableciendo lineamientos para mejorar el uso y gestión integral del agua (Zárate, 2017).

4.2 Sistema Acuapónico e hidropónico

Correspondiente a los problemas anteriormente mencionados del mal uso del agua, el sector de la pesca directa posee diferentes cambios en las dinámicas que muestran este tipo de actividades y un ejemplo es que se presenta menos recurso pesquero por unidad de captura en localidades costeras del país y en el mundo (García, 2010). Debido a lo antes mencionado para garantizar el menor impacto en el medio natural, existen diferentes técnicas para cultivar hortalizas, siendo la hidroponía y la acuaponía consideradas como las alternativas más sustentables para llevar a cabo esta labor (Wilson, 2018). La hidroponía se deriva del griego “hydro”, agua, y “ponos”, labor, lo que se traduce en “trabajo en agua” (González, 2006). En los sistemas hidropónicos es indispensable proporcionar a la planta los elementos esenciales que obtiene de manera natural de la tierra para su desarrollo (Viveros et al., 2018). Para ello es necesario proporcionar artificialmente nutrientes como compuestos nitrogenados, fosforados y potasicos en al agua, distribuidos a través de una tubería fabricada generalmente de un material resistente como el policloruro de vinilo (PVC) y el Policloruro de vinilo clorado (CPVC), para que las plantas crezcan sin hacer uso de tierra (Ross, 2016).

Según el método propuesto por Steiner (1961), el fundamento de los sistemas hidropónicos se basa en las interacciones químicas de diferentes iones (aniones y cationes), pero en esta formulación no se considera el ion amonio que puede proporcionar nitrógeno fácilmente asimilable a las plantas en crecimiento. El conocimiento acerca de la concentración adecuada del ion amonio para plantas podría incrementar el rendimiento del cultivo y evitar uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (Smill, 1997). La recirculación de agua a través del sistema hidropónico en ocasiones reduce el uso del agua hasta en un 95% en comparación con el cultivo en campo y los agricultores pueden ubicar unidades hidropónicas de alto rendimiento cerca de los centros de población en regiones de climas adversos para reducir el tiempo de tránsito y la pérdida de nutrientes durante el envío (Gilmour et al., 2019).

La acuaponía deriva de la combinación de los términos acuacultura e hidroponía (Backyard Aquaponics, 2011). El funcionamiento se basa en el uso de peces en el sistema en el que los desechos orgánicos producidos por estos organismos son convertidos, a través de la acción bacteriana, en nitratos, que sirven como fuente de nutrientes para plantas actuando de esta manera como filtro biológico (Ortega, et al., 2015). En términos generales, un sistema acuapónico (SA) está conformado por un tanque de peces u otros organismos acuáticos, siendo la tilapia (*Oreochromis niloticus*) la especie que más se utiliza, aunque también se han usado algunas especies de crustáceos como el camarón (*Cherax quadricarinatus*) (ATTRA, 2006). Otros componentes del sistema son el filtro de sólidos, el biofiltro, la cama de crecimiento para plantas, el sistema de bombeo

de agua y el sistema de aireación (Lennard y Leonard 2005). Los elementos se conectan de tal forma que el agua rica en nutrientes pasa del tanque de peces al clarificador donde se eliminan la mayor parte de partículas disueltas grandes y pequeñas y riega el soporte de las plantas (Ramírez, 2009).

Al elegir sistemas acuapónicos en lugar de sistemas convencionales de producción se obtienen varias ventajas, por ejemplo, se reducen los costos operativos de producción de alimentos y se disminuye la cantidad de nitrógeno vertido en el agua que puede actuar como un contaminante (CENADAC, 2011). Esto se debe a las colonias de bacterias nitrificantes que convierten el amoníaco a nitrito y después a nitrato, en donde los microorganismos que participan en esta actividad desarrollan dos funciones, la primera es la de degradar los compuestos nitrogenados que se encuentran en formas que resultan peligrosas para los peces, como amoníaco y nitritos; y la segunda es la de proveer de nutrientes a las plantas en forma de nitrato (Martínez, Y., 2013).

Asimismo, reduce el uso de agroquímicos y fertilizantes, reutiliza el agua al ser un sistema cerrado, también se aminoran los costos de operación por acarreo de agua, y produce vegetales con un valor agregado considerados productos orgánicos (ATTRA, 2006). Además, permite combinar la producción sustentable de peces con la de hortalizas sin hacer uso de tierra, con bajos costos y mayor remuneración económica; atendiendo dos de los principales problemas a nivel mundial que son la falta de alimentos y agua ocasionados por el uso incorrecto del agua dulce en la industria de la agricultura (Cutíño, Imeroni y Sonzano, 2018).

La acuaponía crea un sistema en el que todos ganan y no se afecta el cultivo que en él se desarrolla, produciéndose más alimento con menos recurso y contribuyendo al logro de la agricultura sostenible (FAO, 2019). Con este proceso se promueve una agricultura sostenible cumpliendo principalmente con los objetivos dos, seis, siete, nueve, doce, catorce y quince de la agenda 2030 (ONU, 2018). El objetivo 7.b de la agenda 2030 garantiza soluciones viables para que los países sin litoral puedan tener una actividad económica sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Naciones Unidas, 2018) colocando a las actividades acuapónicas como una opción para la mitigación de la pobreza en áreas rurales (García, 2010). Dicho escenario, coloca a las actividades acuapónicas como la alternativa viable en producción alimenticia y al mismo tiempo con la responsabilidad de lograrlo guardando el punto de equilibrio sustentable y conservarlo durante su creciente evolución (FAO, 2019).

No obstante, la acuaponía no está exenta de limitaciones ya que depende del suministro de electricidad para el funcionamiento de bombas de agua y de aireación y su complejidad ecológica pone al sistema en riesgo ante cualquier fallo; un ejemplo de un factor crítico es tener la densidad correcta de peces, microorganismos y plantas (Medina & Arijo, 2019). Además, el efluente de la acuicultura regularmente contiene compuestos nitrogenados abundantes y fósforo, pero carece de otros nutrientes vegetales importantes como el potasio y el hierro quelado (Rakocy et al., 2004). El perfil de nutrientes del efluente de los peces se debe ajustar a los requerimientos nutricionales de las plantas (SRAC, 1989).

Si la cantidad de peces se incrementa demasiado, las plantas se ven imposibilitadas de mantener los niveles de nutrientes bajo control y los peces mueren. Por el contrario, si hay pocos peces no se generan los desechos suficientes para proporcionar a las plantas la cantidad necesaria de nutrientes (Pavlis, 2018). Los sistemas acuapónicos requieren una alta inversión de capital, insumos de energía moderados y una gestión calificada que permita hacer frente a cualquier problemática que se presente en el proceso de producción (Bakiu y Shehu, 2014).

4.3 Producción Agroacuícola: lechuga y tilapia en territorio nacional

Las hortalizas tienen particular importancia para la economía agrícola de México por su contribución en la generación de divisas y empleo en el campo (Gutiérrez et al., 2014). Sin embargo, a nivel nacional en México se tiene una superficie agrícola total de 32 406 237.11 ha por disponibilidad de agua dulce (INEGI, 2017). Estas áreas van disminuyendo con el paso del tiempo por lo que existe la necesidad de controlar y mantener el agua bajo las condiciones climáticas que se presentan actualmente en México y específicamente en el estado de Sonora, estas disminuciones de áreas disponibles para sembrar representan un reto para las actividades agrícolas (Fimbres, 2007). La FAO (2008) reporta que entre los países exportadores de lechuga se encuentra México con un excelente ingreso anual.

México es el noveno productor de hortalizas en el mundo alcanzando una producción de 14.1 millones de toneladas por año (SIAP, 2016). La lechuga es una hortaliza que se destaca por ser un vegetal

que tiene pocas calorías y alto contenido de agua (SAGARHPA, 2017). Nuestro país se colocó como el 9° productor de lechuga a nivel mundial en 2019 siendo de julio a agosto los meses de mayor disponibilidad (SADR, 2019). En Sonora la estimación de volumen de lechuga siendo de los principales productos agrícolas exportados en 2017 es de 10,241 toneladas (SAGARHPA, 2018).

Por otro lado, según Urbalejo (2006) en Estados Unidos se encuentra un mercado internacional insatisfecho de tilapia. Esto constituye un área de oportunidad para el mercado nacional debido a que la producción de tilapia está situada en la quinta posición entre las especies de valor pesquero y acuícola y en la tercera por el valor de su producción (FAO, 2018). El estado de Sonora es una de las entidades con mayor éxito en la acuicultura de tilapia; en el 2016 encabezó el volumen de producción acuícola a nivel nacional con 439 mil toneladas de productos acuícolas (Gobierno Estatal de Sonora, 2017). En Sonora el promedio anual de diez años durante el periodo 2004 - 2013 fue de 56 033.7 Toneladas (SAGARHPA, 2015). Sin embargo, la preocupación por los impactos ambientales de los desechos acuícolas es grave y la búsqueda de una formulación de alimentos para peces, que logre mayores rendimientos es indispensable (Cho y Bureau 2001). En este contexto, la producción acuapónica resulta una solución factible ante un posible escenario de carencia de agua (Fimbres, 2007).

Asimismo, se tienen estudios financieros en el estado de Sonora de la Universidad Estatal de Sonora que apoyan la viabilidad del proceso acuapónico puesto que económicamente la inversión inicial requerida es menor que la obtenida y con periodos de recuperación cortos (Figuroa, 2007). También se han realizado diferentes investigaciones que validan la producción de pepino y tilapia mediante un sistema acuapónico (Estrada et al., 2018). En otros estudios se ha analizado el efecto de la salinidad en el rendimiento del camarón marino *Litopenaeus vannamei* y la planta halófila *Sarcocornia ambigua* en un sistema acuapónico con biofloc (Pinheiro et al., 2020).

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El presente proyecto es un estudio de tipo cuantitativo, que consiste en comparar la gestión y el uso del agua dulce a través de la estimación de la HH en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) mediante el establecimiento de un sistema acuapónico e hidropónico.

5.2 Diseño Metodológico

La presente investigación es experimental y se desarrolló en etapas; en la primera fue necesario establecer los sistemas de tipo “Nutrition Film Technique” (NFT) de cultivo, monitorear el crecimiento de las plantas y obtener la cosecha, posteriormente en la segunda etapa se procedió al cálculo de la HH y la evapotranspiración en cada uno de los sistemas y en la tercera se realizó una comparación del rendimiento de cada cultivo y de su HH.

Cultivo de lechuga

Inició con la plantación del cultivo de lechuga en un cuarto de producción con ambiente controlado a 25 °C bajo luz del azul y roja para posteriormente trasplantarse en el sistema acuapónico e hidropónico.

En el mismo periodo de pre-siembra se realizó una prueba simple de siembra de esquejes de albahaca (*Ocimum basilicum*) en el sistema acuapónico para supervisar que estuvieran presentes los nutrientes necesarios para las plantas de lechuga, se observaron las hojas de albahaca para ver posibles deficiencias en su color, tamaño y forma. Durante el mismo periodo se observó el comportamiento de los peces.

El sistema de acuaponía contó con plantas de lechuga (*Lactuca sativa*), tilapias (*Oreochromis niloticus*) y un biofiltro formado por medio de cultivo con microorganismos nitrificantes, se proporcionó

alimento comercial a los peces y se tuvo recirculación de agua de forma continua para obtener el microambiente favorable para todos los organismos durante un mes.

El sistema de hidroponía contó con plantas de lechuga con recirculación de agua de forma continua para obtener un ambiente ideal para el cultivo. Se hizo uso de fertilizantes y se usó ácido nítrico para controlar el pH.

El diseño para la selección de las plantas a evaluar fué completamente al azar tanto en el sistema acuapónico como hidropónico. Las variables para evaluar fueron: consumo de agua, rendimiento del cultivo y peso de la planta. El rendimiento se expresó en función del peso promedio de plantas (kg) seleccionadas al azar y el volumen de agua (m³) suministrado al sistema (Ríos et al., 2016).

Huella hídrica

La estimación de la HH de ambos sistemas de producción se realizó a partir de lo reportado en la literatura para los materiales requeridos y el balance de agua en m³ de las entradas y salidas en la producción de lechuga en los sistemas de acuerdo con la unidad funcional seleccionada.

La información obtenida permitió elaborar una tabla que reflejó una comparación de la HH entre los cultivos experimentales estudiados, rendimiento y potencial aporte al desarrollo sustentable.

5.3 Alcance

La presente investigación se realizó de octubre de 2019 a julio de 2020.

5.4 Hipótesis y/o preguntas de investigación

Para contribuir en la mejora de los procesos agrícolas tradicionales en cuanto al uso y gestión del agua, surgieron las siguientes preguntas de investigación ¿Cuál es la huella hídrica de la producción de lechuga en un proceso hidropónico? ¿Cuál es la huella hídrica de la producción de lechuga en un proceso acuapónico? ¿Cuál de los dos procesos resulta más productivo y permite un mejor uso de recurso del agua?

5.5 Objeto de estudio

El objeto de estudio fue el volumen de agua dulce total que se utilizó directa e indirectamente para la producción de lechuga en los sistemas de cultivo.

5.6 Selección del objeto de estudio o del lugar que ubica al objeto de estudio

El proyecto se llevó a cabo dentro del vivero del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora a temperatura ambiente, en Hermosillo, Son. ubicado en las coordenadas geográficas de 29° 00' 47" latitud norte, 111° 08' 13" longitud oeste y a una altitud 151 m. La temperatura media anual de la región es de 25°C con una precipitación anual de 246.4 mm, presentando un clima de BW(h') hw (x') (e') según García (2004).

5.7 Instrumentos de manejo de datos

Para obtener la media y desviación estándar de los datos de las variables a evaluar en ambos sistemas, los datos se capturaron usando el programa Excel, se realizó el análisis de resultados usando la prueba t de *student* con un nivel de significancia del 5% para las comparaciones de las medias de las variables evaluadas.

La estimación de la HH de ambos sistemas de producción se realizó obteniendo la HH del inventario de los insumos requeridos en cada uno de los cultivos experimentales reportada en la literatura y a partir del balance de agua en m³ de las entradas y salidas durante el cultivo de la lechuga.

La información obtenida permitió elaborar una tabla de los sistemas experimentales estudiados comparando su HH, rendimiento de producción y potencial aporte al desarrollo sustentable.

VI. RESULTADOS

Durante el presente trabajo de investigación se obtuvieron los siguientes resultados divididos en 9 apartados.

6.1 Análisis literario

El análisis literario se desarrolló mediante la consulta de al menos 42 % de fuentes actualizadas publicadas en un periodo no máximo de 3 años, un 36 % de fuentes recuperadas en un periodo de 2016-2010; el 75 % de las fuentes son de primer autor y el 25 % son de segundo autor con un total de 85 fuentes confiables.

6.2 Establecimiento de los sistemas acuapónicos e hidropónicos

6.2.1. Montaje de los sistemas

La imagen 1 muestra los dos sistemas de tipo NFT montados en un mismo espacio. Para la instalación de los sistemas se hicieron dos orificios en el piso de la casa sombra, uno para el sistema acuapónico y otro para el sistema hidropónico de 70 cm de diámetro con 80 cm de profundidad para el tinaco de 250 L, además al piso de tierra se cubrió de grava blanca con la finalidad de reflejar los rayos del sol para no absorber calor. En el Anexo A las imágenes I, II, III, IV, V, VI y VII muestran el proceso de instalación de los dos sistemas NFT.



Imagen 1. Montaje del sistema NFT hidropónico y acuapónico de siembra de PVC

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Establecimiento del biofiltro

Para el sistema acuapónico como punto intermedio entre el tanque y la cama de siembra se montó un biofiltro que tiene la función de albergar la microbiota, dentro de él se vertió 1 m de poliducto corrugado cortado en trozos que funcionó como adherente de microorganismos. Después de esto se dejó correr el agua durante un mes para que los microorganismos nitrificantes se fijaran en el biofiltro. Para conectar las partes del tanque, el biofiltro y la cama de siembra se hizo uso de conexiones de CPVC de ½ pulgada. En el Anexo A las imágenes VI y VII muestran este montaje.

6.2.3. Suministro de energía eléctrica para los sistemas

Para proveer de energía a la bomba marca Airon de 800 L/h capacidad y que se lleve a cabo la recirculación de agua en todo el sistema se suministró corriente eléctrica dentro de la casa sombra, esta instalación se observa en la imagen III del Anexo A.

6.3 Biofiltro: Curva de crecimiento de microbiota para sistema acuapónico

Para permitir la llegada y reproducción de los microorganismos nitrificantes en el biofiltro se dejó recircular el agua a través del sistema por un mes a una temperatura de 25 °C y un pH de 8, la figura 1 manifiesta el crecimiento de los microorganismos a través del tiempo, en él se observa la concentración de compuestos nitrogenados que relaciona el incremento con el crecimiento y actividad microbiana en el biofiltro. Es importante resaltar que a partir de la tercera semana hay un desarrollo notorio de los nitratos que tienen especial función para las plantas y es menos tóxico para los peces.

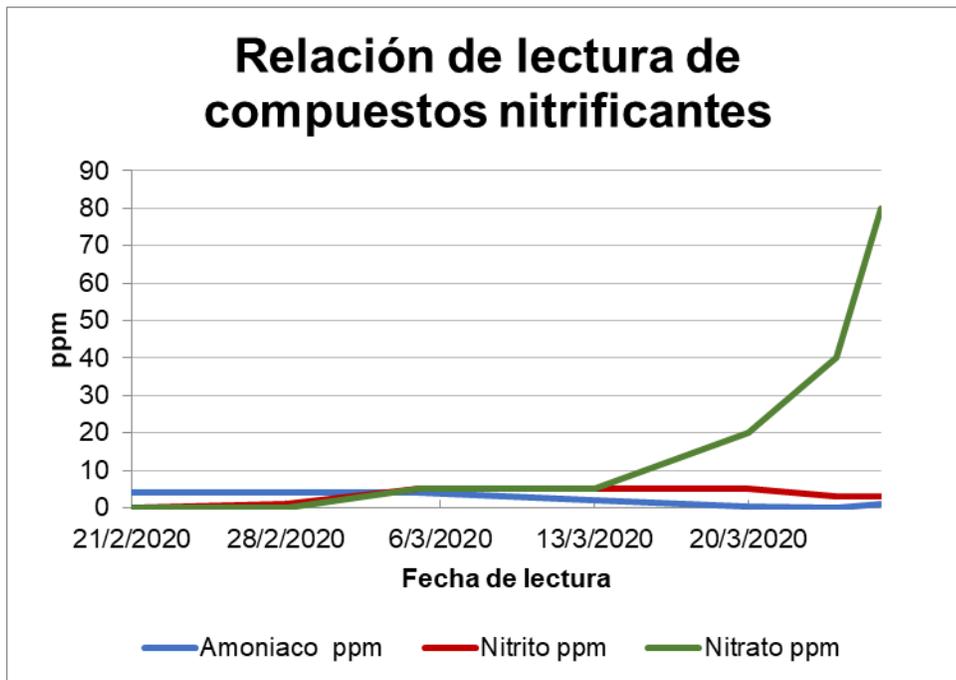


Figura 1. Relación de crecimiento microbiano con la producción de compuestos nitrificantes

Fuente: Elaboración propia

Para hacer una relación de 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; dicho kit mide las concentraciones de amoníaco, los nitritos y nitratos en ppm (mg/L). Se tomaron muestras por triplicado durante 5 semanas de 5 ml del agua que salió del tubo de PVC de 2" que regresaba al tinaco, a partir del inicio del desarrollo del biofiltro.

6.4 Prueba preliminar con albahaca del sistema acuapónico

Durante el periodo de pre-siembra de las lechugas se hicieron pruebas con esquejes de albahaca (*Ocimum basilicum*) que sirvieron como sistema vector fuera de la casa sombra, después fueron plantadas alrededor de la casa sombra con el objetivo de distraer alguna plaga. Dicha prueba confirmó que el sistema acuapónico disponía de nutrientes y que los microorganismos estaban haciendo la conversión de amoniacó a nitritos, se observó diariamente su crecimiento, color de hojas y turgencia durante 21 días. Esta prueba indicó que el sistema estaba listo para siembra de lechugas puesto que las dos plantas son consideradas hortalizas de hoja.

En la imagen 2 se observa la cosecha de albahaca; la raíz blanca, firme y sin mucosidad a la vez el color verde uniforme de sus hojas manifestó que las plantas se encontraban sanas. En el Anexo B en las imágenes VIII, IX y X se puede observar a la albahaca desde su siembra hasta su cosecha.



Imagen 2. Plantas de albahaca obtenidas en la prueba preliminar del sistema acuapónico.

Fuente: Elaboración propia

6.5 Germinación de lechuga en cuarto de producción

La germinación se realizó en un cuarto de producción donde se utilizó 2.47 L de agua para las 38 plantas del experimento que se mantuvieron durante 4 semanas a una temperatura 25°C. La germinación se llevó a cabo bajo luz led azul y roja. La imagen 3 muestra la charola de siembra. En el anexo C las imágenes de la XI a la XVII muestran los instrumentos y materiales que se utilizaron durante la germinación.



Imagen 3. Sistema para la germinación de lechugas en el cuarto de producción a 25°C con luz led azul y roja

Fuente: Elaboración propia

6.6 Siembra de lechuga

El día de siembra se llevó a cabo en la semana 5 después del periodo de germinación (26 de junio). En las imágenes 4 y 5 se puede observar a las lechugas en su primer día de siembra. En la imagen 6 y 7 se puede ver a las lechugas en su último día de siembra antes de ser cosechadas.



Imagen 4. Día de siembra 1 sistema hidropónico
Fuente: Elaboración propia



Imagen 5. Día de siembra 1 sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia



Imagen 6. Día de cosecha sistema hidropónico
Fuente: Elaboración propia



Imagen 7. Día de cosecha del sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia

6.7 Características del cultivo: crecimiento y producción

En la imagen 8 y 9 se observa el cultivo de lechuga en el día de cosecha. Con un peso promedio de 0.097 kg (± 0.007 kg) y 0.056 kg (± 0.005 kg) en el sistema hidropónico y acuapónico respectivamente. La prueba *t de student* reveló diferencia significativa de 5 % entre los promedios de los pesos de producción de los sistemas, evaluando un total de 19 plantas para cada una de las instalaciones.



Imagen 8. Día de cosecha sistema hidropónico

Fuente: Elaboración propia



Imagen 9. Día de cosecha sistema hidropónico

Fuente: Elaboración propia

6.8 Resultados de monitoreo durante experimentación

En la tabla 3 y 4 se muestra el monitoreo diario que se llevó a cabo del 26 de junio al 26 de Julio en el sistema acuapónico e hidropónico respectivamente.

Tabla 1. Monitoreo diario sistema acuapónico

Sistema Acuapónico							
Fecha	pH	*EC	Temperatura °C	Concentración amoniaco ppm	Concentración nitritos ppm	Concentración nitratos ppm	Hora
26/06/2020	8.1	0.6	30	1	0	80	6:00 am
27/06/2020	8.1	0.6	29	1	0	80	9:14 am
28/06/2020	8.6	0.5	28	1	0	80	5:56 am
29/06/2020	8	0.7	33	1	0.25	40	2:00 pm
30/06/2020	7.6	0.7	28	1	0	20	7:00 am
01/07/2020	7.9	0.8	28	2	0.25	40	7:00am
02/07/2020	6.9	0.7	25	1	0.25	80	7:54am
03/07/2020	7.9	0.7	29	1	0.25	80	7:43am
04/07/2020	6.9	0.7	28	0.5	0.25	80	6:34am
05/07/2020	8.3	0.7	28	0.5	0	80	7:00am
06/07/2020	7.9	0.7	29	0.5	0	80	6:24am
07/07/2020	7.8	0.8	34	0.25	0.25	80	2:34pm
08/07/2020	7.8	0.8	30	0.25	0.25	80	5:46am
09/07/2020	7.9	0.8	37	0.25	0	80	3:00pm
10/07/2020	8.1	0.7	29	0.5	0	80	6:04am
11/07/2020	8.2	0.7	34	0.5	0	80	3:20pm
12/07/2020	8	0.7	29	0.25	0	80	5:59am
13/07/2020	8.1	0.8	35	0.25	0	80	3:30pm
14/07/2020	8.1	0.7	31	0.25	0	80	5:50am
15/07/2020	7.9	0.8	31	0.25	0	80	5:25am
16/07/2020	7.6	0.8	33	0.5	0	80	3:30pm
17/07/2020	7.9	0.7	33	1	0	80	2:20pm
18/07/2020	8.2	0.7	29	1	0	80	5:11am
19/07/2020	8.5	0.8	35	0.5	0	80	2:30pm
20/07/2020	8.1	0.7	30	0.5	0	80	5:16am
21/07/2020	7.9	0.8	30	0.5	0	80	7:30am
22/07/2020	8.1	0.7	30	0.25	0	80	6:24am
23/07/2020	8.1	0.8	30	0.5	0	80	7:30am
24/07/2020	8.1	0.8	29	0.25	0	80	5:00am
25/07/2020	8.1	0.8	30	0.25	0	80	5:30am
26/07/2020	8.1	0.8	30	0.25	0	80	6:30am
27/07/2020	8.1	0.7	28	0.25	0	80	6:12am
28/07/2020	8.1	0.8	30	0.25	0	80	5:15am
29/07/2020	8.1	0.8	30	0.25	0	80	6:39am
30/07/2020	8.1	0.7	30	0.25	0	80	6:27am
31/07/2020	8.1	0.8	30	0.25	0	80	7:00am

Fuente: Elaboración propia

*EC: Electroconductividad.

Tabla 2. Monitoreo diario sistema hidropónico

Sistema Hidropónico				
Fecha	pH	*EC	Temperatura °C	Hora
26/06/2020	8.2	0.5	30	6:00 am
27/06/2020	8.2	0.5	29	9:14 am
28/06/2020	8.6	0.5	27	5:56 am
29/06/2020	6.5	1.9	34	2:00 pm
30/06/2020	6.5	2	27	7:00 am
01/07/2020	6.5	1.8	27	7:00am
02/07/2020	6.5	2	26	7:54am
03/07/2020	6.4	2	28	7:43am
04/07/2020	6.2	2.1	28	6:34am
05/07/2020	6.2	2.1	28	7:00am
06/07/2020	6.3	2.1	29	6:24am
07/07/2020	6.3	2.5	34	2:34pm
08/07/2020	6	2.2	30	5:46am
09/07/2020	6	2.2	30	3:00pm
10/07/2020	6.1	2.3	30	6:04am
11/07/2020	5.7	2.5	34	3:20pm
12/07/2020	6	2.1	29	5:59am
13/07/2020	5.6	2.2	35	3:30pm
14/07/2020	5.6	2.1	31	5:50am
15/07/2020	5.5	2.1	31	5:25am
16/07/2020	5.5	2.1	33	3:30pm
17/07/2020	6	2.1	34	2:20pm
18/07/2020	6	2.1	30	5:11am
19/07/2020	6.2	2.1	35	2:30pm
20/07/2020	6.1	2.1	30	5:16am
21/07/2020	6.1	2.1	30	7:30am
22/07/2020	6.1	2.1	30	6:24am
23/07/2020	6.1	2.1	30	7:30am
24/07/2020	6.1	2.4	30	5:00am
25/07/2020	6.1	2.5	30	5:30am
26/07/2020	6	1.5	30	6:30am
27/07/2020	6	2.6	30	6:12am
28/07/2020	6	2.5	30	5:15am
29/07/2020	6.1	2.5	30	6:39am
30/07/2020	6.1	2.6	30	6:27am
31/07/2020	6	2.7	30	7:00am

Fuente: Elaboración propia

*EC: Electroconductividad.

6.9 Comparación de la huella hídrica del sistema hidropónico y acuapónico

En la tabla 1 y 2 se muestra la HH de los materiales necesarios para la instalación de los dos montajes. En esta sección se buscó la HH de los materiales reportado en la literatura. Después se realizó un ajuste para relacionar los L/kg de agua reportados en la literatura con los L/kg utilizados en este experimento con excepción de la energía eléctrica, dicho dato fue reportado en kilowatt/hora y para hacer el ajuste de este insumo fue necesario multiplicar el número de kilowatt/hora por 24 h y el resultado multiplicado por el número de días del experimento. Al final se hizo una sumatoria de los litros de agua de los insumos que fueron requeridos durante el periodo de experimentación para cada montaje respectivamente.

Tabla 3. HH de los materiales del sistema acuapónico

Sistema acuapónico				
Materiales	HH (L) por 1 kg reportado en literatura	Masa(kg) utilizada en experimento	Litros de HH utilizada en experimento	Fuente
*PVC 4"	1.1231 L	5.182 kg	5.82 L	SuizAgua, 2015
*PVC 2"	1.1235 L	0.712 kg	0.799 L	SuizAgua, 2015
**CPVC 1/2"	1.1207 L	0.172 kg	0.192 L	SuizAgua, 2015
Tanque Polietileno 250 L	6 L kg ⁻¹	1kg	6 L	Tolón, A., Bolivar, X. y Fernández, V., 2013
Estructuras metálicas	6.8965 L	6.912 kg	47.6686 L	Neza moleslami, R.y Hosseinian, M., 2020
Energía soplador (Blower)	0.05479 kWh/1000L		598 154 L	SENER, 2013
Energía de la bomba marca Airon	0.05479 kWh/1000L		15.84 L	SENER, 2013
Agua para regar plantas en pre riego		1.235 kg	1.235 L	Sánchez, A., 2020
Cubeta Polietileno Biofiltro	6 L kg ⁻¹	1 kg	5.22 L	Tolón, A., Bolivar, X. y Fernández, V., 2013
Alimento de peces	1 155 L	1.14 kg	1316.7 L	Pérez, M., et al. 2017
TOTAL			599553.3146 L	

Fuente: Elaboración propia

*PVC: Policloruro Vinilo.

**CPVC: Policloruro de Vinilo clorado.

Tabla 4. HH de los materiales del sistema hidropónico

Sistema hidropónico				
Materiales	HH (L) por 1 kg reportado en literatura	Masa(kg) utilizada en experimento	Litros de HH utilizada en experimento	Fuente
*PVC 4"	1.1231 L	5.182 kg	5.82 L	SuizAgua, 2015
*PVC 2"	1.1235 L	0.712 kg	0.799 L	SuizAgua, 2015
**CPVC 1/2"	1.1207 L	0.172 kg	0.192 L	SuizAgua, 2015
Tanque Polietileno 250 L	6 L kg-1	1kg	6 L	Tolón, A., Bolivar, X. y Fernández, V., 2013
Estructuras metálicas	6.8965 L	6.912 kg	47.6686 L	Nezamoleslami, R. y Hosseinian, M., 2020
Energía soplador (Blower)	0.05479 kWh/1000L		598 154 L	SENER, 2013
Energía de la bomba marca Airon	0.05479 kWh/1000L		15.84 L	SENER, 2013
Agua para regar plantas en pre riego		1.235 kg	1.235 L	Sánchez, A., 2020
Fertilizante general	0.18 L	0.19 kg	0.0342 L	Tolón, A., Bolivar, X. y Fernández, V., 2013
TOTAL			598231.4288 L	

Fuente: Elaboración propia

*PVC: Policloruro Vinilo.

**CPVC: Policloruro de Vinilo clorado.

En la figura 2 se muestra la comparación de las huellas hídricas requeridas para la producción de los instrumentos y materiales de los sistemas. Dicha gráfica se realizó basándose en el total de litros gastados de la producción de los instrumentos y materiales de la tabla 1 y 2.

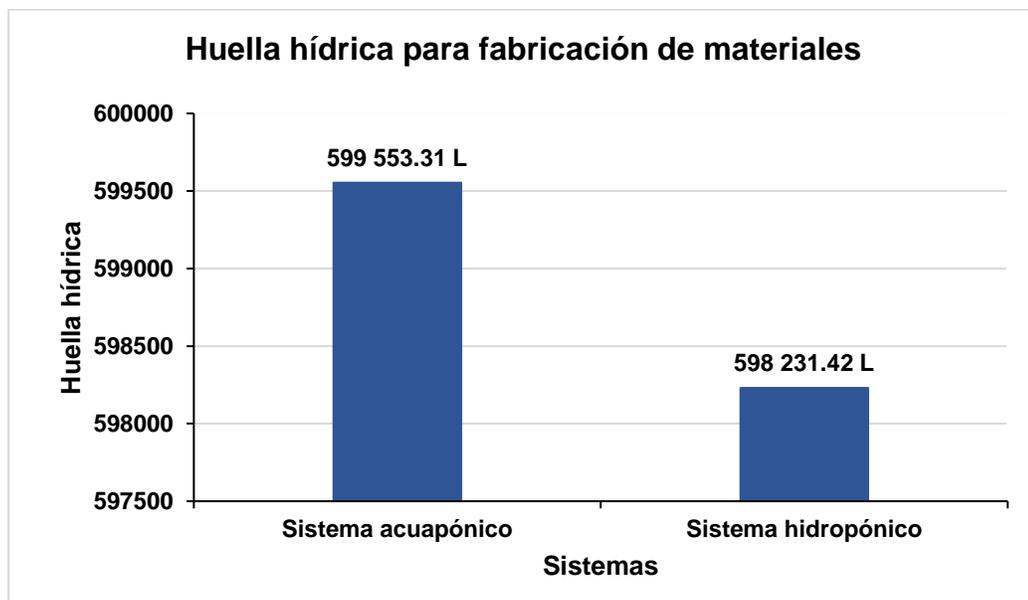


Figura 2. HH total de la instalación de los materiales de los sistemas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se muestra el agua utilizada para la producción de lechugas. Durante la experimentación el nivel de amoníaco se elevó por encima de 1 ppm en el sistema acuapónico, para disminuirlo, se realizó un recambio de agua del 25 % del volumen total. En el tanque del sistema hidropónico también se realizó el recambio del agua del 25 % por que los niveles de electroconductividad subieron por encima de 2.9. Dicho 25 % fue sumado al gasto de agua utilizado durante la experimentación para cada sistema.

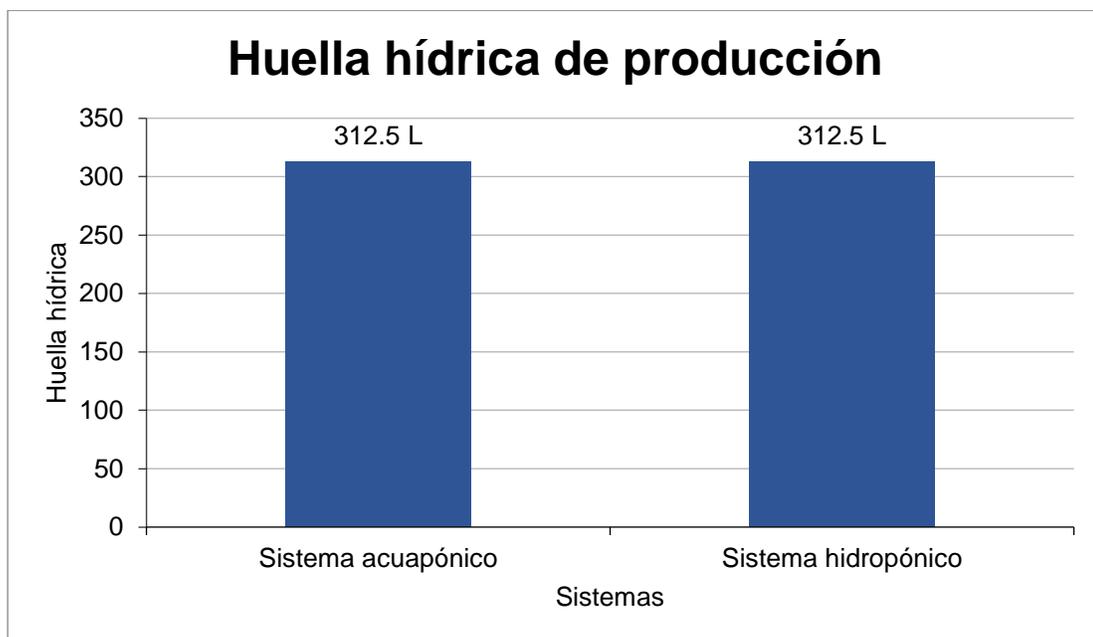


Figura 3. Litros utilizados durante producción

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se muestra el agua total utilizada para cada sistema. Para generar esta gráfica fue necesario sumar los litros de la figura 2 (HH total de la instalación de los instrumentos y materiales de los sistemas) y los litros de la figura 3 (litros utilizados durante la producción).

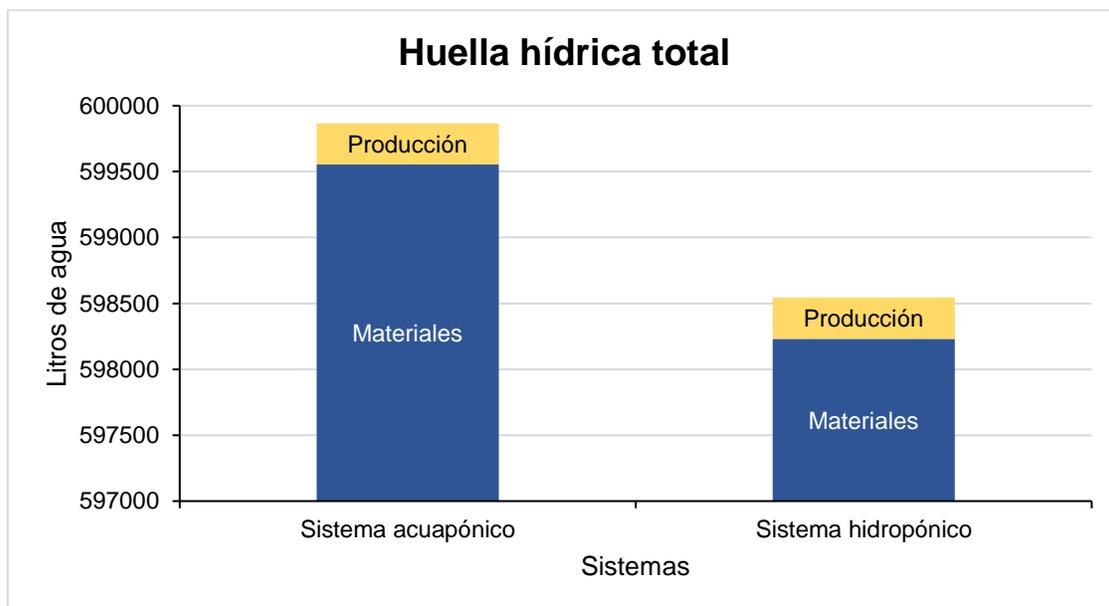


Figura 4. HH total de los sistemas durante el periodo de experimentación

Fuente: Elaboración propia

6.10 Potencial aporte al desarrollo sustentable.

En relación con los objetivos de la agenda 2030 los sistemas aportan a cada una de las metas propuestas en diferente proporción. En el objetivo 6 los dos sistemas tienen aportación en los puntos 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.a y 6.b. El sistema hidropónico tiene mayor contribución ya que presenta menor huella hídrica en su instalación. En el objetivo 2 los dos sistemas tienen aportación en los puntos 2.1, 2.3, 2.4, 2.a y 2.b. El sistema acuapónico tiene mayor contribución pues en él se puede obtener un producto animal y vegetal. En el objetivo 14 solo el sistema acuapónico contribuye en los puntos 14.4, 14.7 y 14.c. En el objetivo 15 los dos tienen la misma aportación ya que los dos sistemas producen hortalizas sin hacer uso del suelo en el punto 15.9. El objetivo 7, 12 y 9 los dos sistemas tienen la misma contribución en los puntos 7.b, 9.4, 9.a, 12.2 y 12.4.

VII. DISCUSIONES

Este trabajo está enfocado principalmente a estimar y comparar la HH de la producción de los materiales necesarios para la instalación de los sistemas en recirculación durante el periodo de cultivo en un clima árido. Se realizó una extensa búsqueda especializada para localizar literatura científica que permitiera hacer la comparación de la HH de los instrumentos y materiales necesarios para montar los dos procesos y los resultados arrojaron una nula disponibilidad de estudios sobre este tema. Por tal motivo, el presente trabajo de investigación representó la oportunidad de generar una evaluación del recurso hídrico utilizado en los sistemas estudiados y contribuir con la gestión sustentable del uso del agua y la seguridad alimentaria. Para recabar información que contrastará con los resultados se hizo uso de diferentes fuentes de información de bases de datos y libros electrónicos como EBSCO, Dialnet, Springer, ProQuest, Science Direct y revistas especializadas de agricultura.

El establecimiento y control de los sistemas se realizó con éxito aun y cuando la temperatura ambiental (30 °C - 40 °C) y del agua (30 °C – 37 °C) durante la experimentación pudo haber sido una limitante para mantener las condiciones ideales en los sistemas. En la literatura ninguno de los estudios identificados reporta condiciones climáticas similares, estos se realizaron a temperaturas menores 30 °C como los trabajos a cargo de Zaini, Kurniawan y Herdhiyanto (2018), Delaide et al. (2016) y Li et al. (2019). Siendo este un aspecto desafiante para lograr el equilibrio y control en la instalación, ninguno de los estudios revisados reporta haber tenido problemas con el diseño de los sistemas acoplados logrando al igual que este trabajo mimetizar esta simbiosis que se da en la naturaleza, el sistema acoplado es aquel que no cuenta con salidas para controlar parámetros en el ciclo del agua. Se encontró un artículo a cargo de Goddek et al. (2016) otro método de instalación de acuaponía de tipo desacoplado que promete controlar mejor el ciclo de agua individualmente y, por ende, el ambiente del agua para los peces y otros parámetros como temperatura, pH y EC evitando fugas en el sistema; estos sistemas se diseñan con salidas para la toma de muestra dimensionándose de manera que se pueda minimizar la manipulación para ajustar las condiciones dentro del ciclo.

Los resultados de las tablas 1 y 2 sobre el monitoreo de los parámetros de los sistemas demuestran que se logró llegar al equilibrio en los diferentes controles de temperatura, pH, EC, amoníaco, nitrato y nitrato para los dos sistemas. Estos datos concuerdan con lo reportado en los trabajos a cargo de

Pérez y Pérez (2016), en el que para optimizar el crecimiento de las plantas en un cultivo e impedir la deficiencia de nutrientes y el estrés en las plantas por alta salinidad resaltan la importancia de cuidar los parámetros de EC, pH y temperatura para la salud raíz del cultivo de lechuga. Por otro el trabajo a cargo de Valenzuela, Martínez y Arevalo (2017) explica la importancia de tener equilibrado los compuestos nitrogenados, ya que de no hacerse los niveles de compuestos nitrificantes pueden incrementar el pH, la alcalinidad en el agua dificulta la biodisponibilidad de nitrógeno asimilable para la microbiota por la escasez de protones y ocasiona aumento de la concentración de este compuesto en el agua y al final intoxicación para los organismos vivos.

La HH en general resultó mayor para el sistema acuapónico que para el hidropónico esto se atribuye a la HH de los materiales e insumos que fueron utilizados. El insumo que marcó la diferencia entre las tablas 3 y 4 fue el alimento para peces empleado en el sistema acuapónico. Un artículo a cargo de Pérez et al. (2017) reporta que el proceso de fabricación de alimento para peces de agua dulce es el responsable de tener mayor afectación al recurso hídrico, pues durante su producción se utilizó maquinaria que demandó 30,666 kWh una cantidad de electricidad elevada generando mayor HH en la producción de este producto. Se sabe, según SENER (2013) que por 1 kWh se gastan 18 251 L de agua. Además, el artículo menciona que los compuestos nitrogenados excretados por los peces aumentan el nitrógeno amoniacal en el agua cambiando su naturaleza, lo que también aumentan la huella hídrica.

Los dos sistemas no presentaron diferencia en el agua utilizada para la producción de lechuga, puesto que en los dos se requirió de hacer recambio del 25 % del volumen total del tanque. La razón por la cual se incrementó el uso del agua mediante recambio del 25 % en el sistema acuapónico fue por la elevación de la concentración de niveles de amoníaco en el tanque que de haberse mantenido podría haber afectado la salud los peces. Según Valenzuela, Martínez & Arévalo (2017) la toxicidad del amoníaco sube al aumentar el pH, por el agua alcalina, esto imposibilita la excreción del amoníaco por la escasez de concentración de protones (H⁺) y se produce una intoxicación por esta sustancia para todos los organismos vivos del sistema. La razón por la cual se incrementó el uso del agua mediante el recambio del 25 % en el sistema hidropónico fue porque durante el experimento los niveles de EC se elevaron por encima de 2.9 y según Monsees et al. (2019) esto no es recomendable para las raíces de las lechugas ya que dejan de absorber macro y micronutrientes cuando la calidad de agua está elevada en sales.

El cultivo de lechuga en el sistema hidropónico tuvo mayor producción y rendimiento expresado en kg de lechuga por m³, esto puede atribuirse a que el sistema hidropónico de entrada ya tiene los nutrientes necesarios y en el sistema acuapónico el calor afectó el nivel de consumo de comida por los peces afectando la producción y rendimiento de las lechugas. Esto concuerda con el trabajo presentado por Lennard y Ward (2019) los autores mencionan que pocos estudios están disponibles que comparen directamente un sistema de tipo NFT acuapónico con uno hidropónico midiendo parámetros de producción y rendimientos en lechugas entre instalaciones.

En la imagen 8 y 9 se observa el cultivo de lechuga el día de su cosecha con un peso promedio de 0.097 kg (± 0.007 kg) y 0.056 kg (± 0.005 kg) en el sistema hidropónico y acuapónico respectivamente. La prueba t de student reveló que en el día 30 existe diferencia significativa de 5 % entre los promedios de los pesos de los sistemas, evaluando un total de 19 cabezas de lechuga para cada instalación. Monsees et al. (2019) observó el peso fresco de lechuga entre el tratamiento de acuaponía y un control hidropónico convencional y resultó un número diferente de hojas y área foliar entre todas las cabezas, obteniendo una diferencia de 32 % en la producción del control hidropónico con el acuapónico; el experimento atribuye el rendimiento de producción por temperaturas altas, dicho trabajo fue realizado en el mes de junio a una temperatura de 29 °C.

La temperatura alcanzada en la temporada de verano en la región fue una limitante ya que según Hernández y Hernández (2005) la temperatura ideal para cultivar lechuga es de 18 - 23 °C durante el día y de 7 a 15°C durante la noche. En el experimento acuapónico los cultivos estuvieron expuestos a condiciones carentes de control climático exponiendo a los peces y plantas a temperaturas ambientales de 30 - 37 °C en el agua, esto produjo lechugas de menor tamaño, lo anterior concuerda con lo obtenido por Lennard y Ward (2019) donde se relaciona la alta temperatura con niveles bajos de oxígeno disuelto en el agua, esto afecta el pH y la alimentación de los peces junto con la producción de compuestos nitrogenados, por ende la calidad en las lechugas. El artículo reportó que realizaron siembra de lechuga en diferentes épocas del año como invierno, primavera y verano con temperaturas máximas de 27 °C y demostró que los parámetros del sistema NFT de acuaponía en producción disminuyeron en todas las comparaciones durante los meses de mayor calor al sistema hidropónico de tipo NFT, pero el resultado de los demás meses los niveles de producción del sistema acuapónico igualaron o superó al sistema hidropónico.

En esta experimentación se logró producir 15 lechugas por m² en cama de siembra, por lo tanto, este rendimiento es mayor en comparación con el cultivo tradicional. El rendimiento del cultivo de lechuga de la misma especie en el cultivo tradicional según Alpízar (2004) en tierra tiene un nivel de producción de 6 a 8 lechugas por m². Según Wu, (2019) el nivel de producción es mejor en los sistemas acuapónicos e hidropónicos en comparación con los sistemas de siembra en tierra; mientras que otros trabajos como el presentado por Jiménez (2020) demuestran que la relación entre la superficie de cultivo de plantas y la de peces puede llegar hasta 10:1 o más dependiendo de la producción diaria de desechos por parte de los organismos, esto significa que por cada m³ de agua de cultivo de peces se pueden incorporar al sistema de 2 a 10 m² de área de cultivo hidropónico.

En la bibliografía se encontró que los sistemas acuapónicos e hidropónicos pueden ahorrar de un 50 a 90 % en el consumo del recurso hídrico en comparación a un sistema tradicional de siembra, este porcentaje de rescate del recurso hídrico depende del tipo de sistema que se implemente y el tipo de necesidades de la hortaliza elegida.

Este trabajo de investigación se desarrolló durante el periodo de pandemia de Covid-19, lo que dificultó el procedimiento de experimentación mas no impidió su exitosa culminación.

VIII. CONCLUSIONES

El interés principal de este estudio fue demostrar de una manera clara el impacto que se tiene sobre el recurso hídrico en la instalación y producción de lechuga en un sistema acuapónico e hidropónico. Se realizó por medio de una búsqueda extensa de huellas hídricas de diferentes instrumentos en bases datos. En conclusión, el análisis literario expuesto indica que la literatura carece de trabajos que muestran una comparación de la HH gastada para la instalación de los dos sistemas. También se informa, en términos sustentables, que los dos procesos pueden cuidar el agua hasta un 90 % en comparación con el sistema tradicional de siembra de hortaliza en suelo y que se puede aumentar el nivel de producción.

Los parámetros de control tales como niveles de pH, EC y temperatura y en el caso del sistema acuapónico los niveles de amoníaco, nitritos y nitratos se lograron controlar a pesar de las altas temperaturas que se presentaron durante el periodo de experimentación.

La HH del sistema hidropónico fue menor que la huella hídrica del sistema acuapónico debido al requerimiento de alimento para peces de agua dulce del tanque. El sistema hidropónico tuvo mayor rendimiento de lechugas. Este sistema hidropónico aporta una gestión más sustentable del recurso del agua. En definitiva, el sistema acuapónico también tiene sus ventajas pues considera dos fuentes de alimentos producidos en un solo periodo de siembra.

En relación con los objetivos de la agenda 2030 los sistemas aportan a cada una de las metas propuestas en diferente proporción. En el objetivo 6 los dos sistemas tienen aportación solo que en este caso el sistema hidropónico tiene mayor contribución. En el objetivo 2 los dos sistemas tienen aportación solo que el sistema acuapónico mayor contribución. En el objetivo 14 solo el sistema acuapónico contribuye. En el objetivo 15 los dos tienen la misma aportación ya que los dos sistemas producen hortalizas sin hacer uso del suelo. El objetivo 7, 12 y 9 los dos sistemas tienen la misma contribución.

IX. REFERENCIAS

- Acosta, E.Z. and 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*, [online] Available at: <<https://revistas.ucm.es/index.php/RASO/article/view/36265>> [Accessed 16 December 2019].
- Aguilar, M. J., Soto, D. and Brummet, R., 2018. Zonificación Acuicola, selección de sitios y áreas de manejo bajo el enfoque ecosistémico a la acuicultura. [e-book] Roma: FAO. . Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=Mp6DwAAQBAJ&pg=PA4&dq=acuicultura+justa&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiGvOaVobLqAhVVofSKHQ75BvsQ6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=acuicultura%20justa&f=false>> [Accessed July 3, 2020].
- Alpizar, A. L., 2004. Hidroponía cultivo sin tierra. [e-book] Costa Rica: Tecnológicas de Costa Rica. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=pjGDwAAQBAJ&pg=PT111&dq=siembra+lechuga+en+tierra&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjhwLWp7cLqAhVJMqWkHfn8C6EQ6AEwAXoECAYQAg#v=onepage&q=siembra%20lechuga%20en%20tierra&f=false>> [Accessed July 10, 2020].
- ATTRA, 2006. Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. [pdf] Available at: <<https://backyardaquaponics.com/Travis/aquaponic.pdf>> [Accessed 16 December 2019].
- Ávila, G. P., 2002. Agua, Cultura y Sociedad. [e-book] Mexico: Colegio de Michoacán. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=nWl6kp5a5AEC&pg=PA248&dq=situacion+actual+agricultura+en+mexico&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiq186EoLLqAhUVrJ4KHSWtDoMQ6AEwBH0ECAIQAg#v=onepage&q=situacion%20actual%20agricultura%20en%20mexico&f=false>> [Accessed July 3, 2020].
- Backyard acuaponics, 2011. The IBC of aquaponic. [pdf] Available at: <<http://www.backyardaquaponics.com/Travis/IBCOfAquaponics1.pdf>> [Accessed 11 October 2019].
- Bakiu, R. and Shehu, J. 2014. Aquaponic systems as excellent agricultural research instruments in Albania, *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, pp. 385–389. Available at: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=96843255&lang=es&site=ehost-live>> (Accessed: 3 February 2020).
- Baumann, M., Kuemmerleaf T., Elbakidze M., Ozdogana, M., Radeloffa, V., Keulerc, N., Prishchepov, A., Kruhlov, I. and Hostert, P. 2011. Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine, *Land Use Policy*, [e-journal] 28(3), 552-562. Available through: Science direct <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837710001146>> [Accessed 03 February 2020]
- Bernstein, S., 2011. Aquaponic Gardening. [e-book] Canada: New society publishers. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=iiT7GbUoauUC&printsec=frontcover&dq=aquaponics+gardening&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi5mZbd3rzmAhUGLa0KHjyaCaAQ6AEILDAA#v=onepage&q=aquaponics%20gardening&f=false>> [Accessed July 3, 2020].
- CENADAC, 2011. Introducción a la Acuaponía. [pdf] Available at: <<http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>> [Accessed 23 September 2019].
- 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*, [e-journal] 32(1), 349-360. Available through: Wiley Online Library <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1355-557x.2001.00027.x>> [Accessed 16 December 2019].
- Cutiño V. B., Imeroni J. C. and Sanzano P., 2018. Acuaponía como alternativa productiva social. [pdf] Available at: <<https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/1760/Cuti%C3%B1o%20Ver%C3%B3nica%20Beatriz.PDF?sequence=1&isAllowed=y>> [Accessed 16 December 2019].
- de Santana, T. A., Oliveira, O. S., Silva, L. D., Laviola, B.G., de Almeida, A. A. and Gomes, F.P., 2015. Water use efficiency and consumption in different Brazilian genotypes of *Jatropha curcas* L. subjected to soil water deficit, *Biomass Bioenergy*, [e-journal] 75(1), 119-125. Available through: ScienceDirect <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0961953415000446?token=42AA229EE210E79C7EA3D3D6B2747803451952D396614291A3451FBF34E6E372995919A944A7DA36D130570D86198542>> [Accessed 16 December 2019].
- Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) Growth Performance in Complemented Aquaponic Solution Outperforms Hydroponics. *Water*, 8(10), 467. Available through: Sci-Hub <<https://sci-hub.tw/10.3390/w8100467>> [Accessed July 29 2020].
- Escobar, H., de Ovando, L.S., Contreras, D., Baginsky, C., Arenas, J. and 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*, [e-journal] 43(1), 55-61. Available through: ProQuest

- <<https://search.proquest.com/prisma/docview/1999113455/D15FA67B0DB94FBFPQ/1?accountid=14646>> [Accessed 11 December 2019].
- Estrada, N., Hernández, A., Ruiz, J., Zavala, I., Romero, C., Cruz, E., Juárez, C., Domínguez, D., and Campos, A. 2018. Stochastic modelling of aquaponic production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) with lettuce (*Lactuca sativa*) and cucumber (*Cucumis sativus*). *Aquaculture research*, [e-journal] 49(12), 3723-3734. Available through: Wiley Onle Library <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/are.13840>> [Accessed 02 February 2020].
- FAO, 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura Oportunidades y desafíos [pdf] Available at: <<http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>> [Accessed 27 June 2020].
- FAO, 2008. LA FAO EN MÉXICO Más de 60 años de cooperación 1945 – 2009 [pdf] Available at: <<http://www.fao.org/3/a-be792s.pdf>> [Accessed 02 February 2020].
- FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la agricultura. [pdf] Available at: <<http://www.fao.org/3/i9540es/i9540es.pdf>> [Accessed 20 February 2020].
- FAO, 2019. Cada gota cuenta. [online] Available at: <<http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1113809/>> [Accessed 11 October 2019].
- FAO, 2019. Evaluación y planificación del sistema agroalimentario ciudad-región. [e-book] Colombia: FAO Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=dzOyDwAAQBAJ&pg=PA43&dq=huella+hídrica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKewi-7vKwgp3nAhVU7J4KHcWnCCwQ6AEIMTAB#v=onepage&q&f=false>> [Accessed 25 January, 2019].
- Figuerola, 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*. Licenciatura. Universidad Estatal de Sonora.
- 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*. Licenciatura. Universidad Estatal de Sonora.
- 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. and Snyder, P., 2005. Global Consequences of Land Use, *Science*, [e-journal] 309(5734), 570-574. Available through: AAAS <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848699001593>> [Accessed 11 December 2019].
- Fulton J., Cooley H., Gleick P.H. 2014. Water Footprint. In: Ajami N. et al. (eds) *The World's Water*. Available through: The World's Water. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-483-3_5> [Accessed 11 December 2019].
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México. [pdf] Available at: <http://www.sema.gob.mx/SRN/SIIAEC/POETE/CUADROS/Cuadro_6_Descripcion_de_los_Tipos_de_Climas.pdf> [Accessed 13 March 2020].
- García, U. M., 2010. Acuicultura rural en la Costa Sur de Jalisco: caso de estudio, *Avances en Investigación Agropecuaria*, [e-journal] 14(2), 29-48. Available through: AIA <http://bvirtual.ucol.mx/descargables/952_acuicultura_rural_en_la_costa_sur_de_jalisco.pdf> [Accessed 11 December 2019].
- Gandini, M., Latorre, E., Alonso, J., Bonilla, F., Paz, A., Muñoz, N., Rodríguez, E., Guzmán, A., Bravo, F., 2016. Percepción y ciudad: análisis de la encuesta del Programa Cali Cómo vamos (2005-2014). [e-book] Colombia: CALI. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=BZCEDwAAQBAJ&pg=PT46&dq=análisis+de+huella+hídrica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKewi7tNf1tp3nAhXYrZ4KHTSaBu4Q6AEIKTAA#v=onepage&q&f=false>> [Accessed 25 January, 2019].
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens M. and Van Beek, L., 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint, *nature*, [e-journal] 488(1), 197-200. Available through: Nature Research Journal <<https://www.nature.com/articles/nature11295>> [Accessed 11 December 2019].
- Gilmour, D., Bazzani, C., Nayga, R. and Snell, A. 2019. Do consumers value hydroponics? Implications for organic certification. *Agricultural Economics*, 50(1), 707– 721. Available through: Wiley Online Library. <<https://doi.org/10.1111/agec.12519>> [Accessed 05 February 2020].
- Goddek, S., Espinal, C., Delaide, B., Haissam, M., Schmutz, Z., Wuertz, S. and Keesman, K., 2016. Navigating towards Decoupled Aquaponic Systems: A System Dynamics Design Approach. [online] Available at: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/8/7/303/htm>> [Accessed July 15, 2020].

- Gobierno del Estado de Sonora, 2017. Tiene Sonora potencial para desarrollo de acuicultura marina y dulceacuícola: IAES-SAGARHPA. [online] Available at: <<https://www.sonora.gob.mx/noticias/3736-tiene-sonora-potencial-para-desarrollo-de-acuicultura-marina-y-dulceacuícola-iaes-sagarhpa.html>> [Accessed 06 February 2020].
- González, R., 2006. Huerta casera manual de hidroponía popular. [e-book] Costa Rica: EUNED. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=wpZJ9qwfWkAC&pg=PR9&dq=hidroponia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjXIZxt6HnAhWlvp4KHb1IC8E4ChDoAQhYMAc#v=onepage&q=hidroponia&f=false>> [Accessed 26 January, 2019].
- Gutiérrez, V., Lagunas, A., Evaristo, E., Serna, J. and López, M. 2014. EL SISTEMA DE TUTORADO Y PODA SOBRE EL RENDIMIENTO DE PEPINO EN AMBIENTE PROTEGIDO, *PRISMA Database*, [e-journal] 39(10), 712-717. Available through: ProQuest <<https://search.proquest.com/prisma/docview/1622355296/44879D72390F4C50PQ/3?accountid=14646>> [Accessed 02 February 2020].
- Hernández, C. & Hernández J., 2005. Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (nft). [pdf] Available at: <<https://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol3num1/lechuga.pdf>> [Accessed July 29, 2020].
- INEGI, 2017. Agricultura, porcentaje de unidades de producción y superficie agrícola por disponibilidad de agua. [online] Available at: <<https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/default.html#Tabulados>> [Accessed 10 December 2019].
- Jiménez, O., 2020. ACUAPONÍA: UNA FORMA POTENCIAL Y SUSTENTABLE DE CULTIVAR DE MANERA EFICIENTE Y SUSTENTABLE ALIMENTOS. [pdf] Available at: <<https://www.eumed.net/actas/20/economia-social/26-acuaponia-una-forma-potencial-y-sustentable-de-cultivar.pdf>> [Accessed July 14, 2020].
- Kumar, S. & Joshiba, J. 2019. Water Footprint of Agricultural Products. In: Muthu S. (eds) Environmental Water Footprints. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer, Singapore 978-981-13-2508-3 <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2508-3_1> [Accessed 06 February 2020].
- Lennard W. A. and 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. [e-journal] 488(1), 539–553. Available through: Springer <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-005-8528-x>> [Accessed 11 December 2019].
- Lennard & Ward 2019, "A Comparison of Plant Growth Rates between an NFT Hydroponic System and an NFT Aquaponic System", *Horticulturae*, vol. 5, no. 2, pp. 27. Available through: ProQuest. <http://gs3sr3zm5k.search.serialssolutions.com/?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info%3Aofi%2Fenc%3AUTF-8&rft_id=info%3Aid%2Fsummon.serialssolutions.com&rft_val_fmt=info%3Aofi%2Ffmt%3Akev%3Amtx%3Ajournal&rft.genre=article&rft.atitle=A+Comparison+of+Plant+Growth+Rates+between+an+NFT+Hydroponic+System+and+an+NFT+Aquaponic+System&rft.jtitle=Horticulturae&rft.au=Lennard&rft.au=Ward&rft.date=2019&rft.pub=MDPI+AG&rft.issn=2311-7524&rft.eissn=2311-7524&rft.volume=5&rft.issue=2&rft.spage=27&rft_id=info:doi/10.3390%2Fhorticulturae5020027&rft.externalDBID=n%2Fa&rft.externalDocID=10_3390_horticulturae5020027¶mdict=es-ES> [Accessed July 13, 2019].
- Li, C., Zhang, B., Luo, P., Shi, H., Li, L., Gao, Y., Wu, W.-M. 2019. Performance of a pilot-scale aquaponics system using hydroponics and immobilized biofilm treatment for water quality control. *Journal of Cleaner Production*, [e-journal] 208, 274–284. Available through: Science Direct <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618331871>> [Accessed July 29, 2020].
- Llamas, M. R. and Martínez A. M., 2009. Water footprint Analysis (Hydrologic and economic) of the Guadiana River Basin. [e-book] Francia: UNESCO Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=T-nBpx4u5vgC&pg=PA2&dq=water+footprint&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwio0JfIprLqAhXSqp4KHwIdATkQ6wEwAXoECAMQAQ#v=onepage&q=water%20footprint&f=false>> [Accessed July 3, 2020].
- Manson, L., 2014. Water Footprint Labelling and WTO Rules. [e-journal] 23(3), 329-341. Available through: Wiley Online Library. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/reel.12090>> [Accessed 29 January, 2019].
- Martínez, M., 2013. INDICADORES COMO INFORMACIÓN BASE PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL: HUELLA HÍDRICA, HUELLA ECOLÓGICA Y HUELLA DE CARBONO. Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Martínez Y. R., 2013. La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa?, *Redicinaysa*, [online] Available at: <<http://www.ugto.mx/redicinaysa/images/Revistas2013/redicinaysa-sept-oct-2013-universidad-guanajuato.pdf>> [Accessed 23 September 2019].
- Matarín, A., Morales, I., 2018. Manual práctico del cultivo de pimiento en agricultura protegida. [e-book] España: Mundi-Prensa. Available at: Google books

- <<https://books.google.com.mx/books?id=EOmADwAAQBAJ&pg=PA88&dq=huella+hidrica+agricultura&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjob6C7J3nAhXPv54KHTsNDUYQ6AEIQzAD#v=onepage&q=huella%20hidrica%20agricultura&f=false>> [Accessed 25 January, 2019].
- Medina, A. and Arijo, S. 2019. Acuaponía. La producción circular de alimentos terrestres y acuáticos, *Mipeces*, [online] Available at: <<http://www.mispecies.com/nav/actualidad/reportajes/reportaje/Acuapona.-La-produccion-circular-de-alimentos-terrestres-y-acuaticos/#.XjhBIWhKjIU>> [Accessed 03 February 2020].
- Monsees, H., Suhl, J., Maurice, P., Kloas, W., Dannehl, D. & Würtz, 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*, vol. 14, no. 6. Available at: <<https://search.proquest.com/docview/2244362664?pq-origsite=summon&http://search.proquest.com/technologycollectio>> (Accessed: July, 12 2020).
- Naciones Unidas, 2018. La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible. [pdf] Available at: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf> [Accessed 16 December 2019].
- Noruega, T.,A. 2019. Bases teórico-metodológicas para el diseño de sistemas agroecológicos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Universidad Nacional de Cuyo. 51 (1) 273-293 Available at: <http://qs3sr3zm5k.search.serialssolutions.com/?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info%3Aofi%2Fenc%3AUTF-8&rft_id=info%3Aid%2Fsummon.serialssolutions.com&rft_val_fmt=info%3Aofi%2Ffmt%3Akev%3Amtx%3Ajournal&rft.genre=article&rft.atitle=Bases+te%C3%B3ricas+para+el+dise%C3%B1o+de+sistemas+agroecol%C3%B3gicos&rft.ititle=Revista+de+la+Facultad+de+Ciencias+Agrarias%2C+Universidad+Nacional+de+Cuyo&rft.au=%C3%81lvaro+Noguera-Talavera&rft.au=Francisco+Salmer%C3%B3n&rft.au=Nadir+Reyes-S%C3%A1nchez&rft.date=2019-06-01&rft.pub=Facultad+de+Ciencias+Agrarias.+Universidad+Nacional+de+Cuyo&rft.issn=0370-4661&rft.eissn=1853-8665&rft.volume=51&rft.issue=1&rft.spage=273&rft.epage=293&rft.externalDBID=DOA&rft.externalDocID=oai_doaj_org_article_4df5deb954f1b89c3c9d442bab4a1¶mdict=es-ES> (Accessed: 27 June 2020).
- Oltra, 2018 Agroalimentación, agua y sostenibilidad. [e-book] España: Cedro. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=jSCADwAAQBAJ&pg=PA91&dq=La+huella+h%C3%ADrica+es+un+indicador+de+uso+de+agua+dulce+que+hace+referencia+tanto+al+uso+directo+del+agua+de+un+consumidor+o+productor.&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiA2JgoyalqAhUCVc0KHXRzBLIQ6AEWAHoECAIQAg#v=onepage&q=La%20huella%20h%C3%ADrica%20es%20un%20indicador%20del%20uso%20de%20agua%20dulce%20hace%20referencia%20tanto%20al%20uso%20directo%20del%20agua%20de%20un%20consumidor%20o%20productor%2C&f=false>> [Accessed 27 June 2019].
- Ortega, L. N. E., Trejo, T. L.I., Gómez, M. F.C., Alonso, L. A. and Salazar, O. J. 2015. Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un sistema acuapónico abierto. [pdf] Available at: <https://www.colpos.mx/wb_pdf/Veracruz/2015_div/caso_div_2.pdf> [Accessed 23 September 2019].
- 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. Available at: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=129416018&lang=es&site=ehost-live>> (Accessed: 3 February 2020).
- Pérez, F. & Pérez U., 2016. Aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa*) bajo técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, PH y conductividad eléctrica en Pucallpa. [online] Available at: < <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3888> > [Accessed July, 29 2019].
- Pinheiro, I., Siqueira, R., Nascimento, F., Valdemiro, L., Fett, R., Oliveira, A., Magallón, F., and Quadros, W., 2020. Aquaponic production of *Sarcomenia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. *Aquaculture*, [e-journal] 519 Available through: Dialnet <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848619316114>> [Accessed 06 February 2020].
- Poudel, D. and Duex, T., 2017. Vanishing Springs in Nepalese Mountains: Assessment of Water Sources, Farmers' Perceptions, and Climate Change Adaptation, *BioOne complete*, [online] Available at: <<https://bioone.org/journals/mountain-research-and-development/volume-37/issue-1/MRD-JOURNAL-D-16-00039.1/Vanishing-Springs-in-Nepalese-Mountains-Assessment-of-Water-Sources/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00039.1.full>> [Accessed 04 September 2019].
- Rakocy J.E., Bailey, D.S., Shultz R.C. and Thoman, E. S., 2004. Update on tilapia and vegetable production in the UVI Aquaponic System. [pdf] Available at: <<https://cals.arizona.edu/azaqua/ista/ista6web/pdf/676.pdf>> [Accessed 10 December 2019].
- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez, D. and Hurtado, H. G., 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico gold-fish lechuga, *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, [e-journal] 5(1), 154-170. Available through:

- Dialnet <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3272488&orden=264990&info=link>> [Accessed 04 September 2019].
- Nezamoleslami, R. and Hosseinian, S., 2020. Data needed for assessing water footprint of steel production. *ELSEVIER*, [e-journal] 260 (30), 105461, Available through: Sciece Direct <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340920303553>> [Accessed July 13, 2020].
- Ríos F, J.L., Torres, Torres, M. A., and Cantú, J.E., 2016. Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional, México.
- Ross, N., 2016. hidroponía: La guía completa de hidroponía para principiantes. [e-book] Barcelona: babelcub. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=aoYBDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=hidroponia&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKewjOy6vYs6HnAhXCrJ4KHx2RBSgQ6AEIOTAC#v=onepage&q&f=false>> [Accessed 26 January, 2019].
- SADR, 2019. Conozcamos un poco más sobre... la lechuga. [online] Available at: <<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/conozcamos-un-poco-mas-sobre-la-lechuga?idiom=es>> [Accessed 06 February 2020].
- SAGARHPA, 2015. Estudio para la determinación de esquemas de mejora para rendimiento en las granjas de producción acuícola de tilapia. [pdf] Available at: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346783/Tilapia_Ejecutivo.pdf> [Accessed 06 February 2020].
- SAGARHPA, 2017. CULTIVO DE LECHUGA. [pdf] Available at: <<http://oiapes.sagarhpa.sonora.gob.mx/notas/lechuga.pdf>> [Accessed 06 February 2020].
- SAGARHPA, 2018. En 2017 aumentaron las exportaciones agrícolas de Sonora 22.0 %. [pdf] Available at: <<http://oiapes.sagarhpa.sonora.gob.mx/notas/econo/expoagri.pdf>> [Accessed 06 February 2020].
- SENER, 2013. Agua y uso eficiente de la energía. [pdf] Available at: <http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/10_enrgiaalimentos/gonzalez_cecilia.pdf> [Accessed July 13, 2020].
- Shao, L., Chen, G., 2018. Water Footprint Assessment for Wastewater Treatment: Method, Indicator, and Application. *Environmental science & technology*, 47(14), 7784-7794. Available through: ACS Publications <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es402013t>> [Accessed 27 January, 2019].
- Shi, R., Ukaew, S., Archer, D., Hee Lee, J., Pearlson, M., Lewis, K. and Shonnard, D., 2017. Life Cycle Water Footprint Analysis for Rapeseed Derived Jet Fuel in North Dakota. *ACS Sustainable Chemistry & Energy*, 5(5), 3845-3854. Available through: ACS Publications <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b02956>> [Accessed 27 January, 2019].
- SIAP, 2016. Somos noveno productor de hortalizas a nivel mundial. [online] Available at: <<https://www.gob.mx/siap/articulos/somos-noveno-productor-de-hortalizas-a-nivel-mundial>> [Accessed 06 February 2020].
- Smil, V., 1997. Global population and the nitrogen cycle. [pdf] Available at: <http://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/Smil_SciAm_N2cycle.pdf> [Accessed 10 December 2019].
- SRAC, 1989. Tank culture of Tilapia. [pdf] Available at: <<https://cals.arizona.edu/azaqua/extension/Classroom/pdffiles/282fs.pdf>> [Accessed 11 December 2019].
- Stadler, F and Houghton, L. 2019. Breathing life into climate change adaptation. *Journal of Industrial Ecology*, 1– 10 Available through: Wiley Online Library Available at: <<https://doi.org/10.1111/jiec.12922>> [Accessed 05 february, 2020].
- Steiner, A. A., 1961. A universal Method for preparing nutrient solution of a certain desired composition, *Plant and soil*, e-journal] 15(1), 134-154. Available through: Springer <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01347224>> [Accessed 04 September 2019].
- SUIZAGUA, 2015. ANÁLISIS DE HUELLA HIDRICA EN LA PLANTA DE FABRICACIÓN DE TUBERÍAS EN EL AGUSTINO. [pdf] Available at: <https://www.shareweb.ch/site/EiAquaNosUne/Documents/15_SuizAgua%20PE-huella_h%C3%ADdrica_planta_tuber%C3%ADas_El_Agustino_Pavco.pdf> [Accessed July 13, 2020].
- Tolón, A., Lastra, X. and Fernandez, V., 2013. Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. [pdf] Available at: <<https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>> [Accessed July 13, 2020].
- UNESCO, 2016. Water and Jobs. [pdf] Available at: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243938/PDF/243938eng.pdf.multi>> [Accessed 16 December 2019].

- Urbalejo, J. 2006. *Análisis de factibilidad del cultivo integral de tilapia negra (Oreochromis niloticus) con cultivo hidropónico de Tomate (Lycopersicon esculentum), bajo condiciones controladas en el Estado de Sonora*. Licenciatura. Universidad Estatal de Sonora.
- Valenzuela Vargas, R., Martínez, P., y Arévalo, J. J. 2017. Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Ingeniería Y Región*, 18(2), Available through: PorQuest <<https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1737>> [Accessed 27 September 2019].
- Vilches, A., Pérez, D., Toscano, J.C. y Macías, O., 2014. Desarrollo rural y Sostenibilidad. [online] Available at: <<http://www.oei.es/decada/accion.php?accion=22>> [Accessed 27 September 2019].
- Viveros, F.M.L., Valenzuela, N.L., Rodríguez, G., Javier Aguado, Ehsan, M., Hernández, V.M. and Maza, A.V. 2018. Utilización del ion amonio en el desarrollo de plántulas de estevia (*stevia rebaudiana bertonii*) en condiciones de hidroponía, *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de America*, [e-journal] 42(2), 106-110. Available through: Dialnet <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6321453>> [Accessed 04 September 2019].
- Wang, H., Qiub, F. and Ruan, X., 2016. Loss or gain: A spatial regression analysis of switching land conversions between agriculture and natural land, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [e-journal] 221(1), 222-234. Available through: ScienceDirect <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6321453>> [Accessed 04 September 2019].
- Watson, P., 2015. Development of a Unique Synthetic Data Set to Improve Sea-Level Research and Understanding, *BioOne complete*, [e-journal] 31(3), 758-770. Available through: BioOne Complete <<https://bioone.org/journals/journal-of-coastal-research/volume-31/issue-3/JCOASTRES-D-14-00143.1/Development-of-a-Unique-Synthetic-Data-Set-to-Improve-Sea/10.2112/JCOASTRES-D-14-00143.1.full>> [Accessed 11 December 2019].
- Wilson, A., 2018. Los hidropónicos: guía suprema de los hidropónicos para salvar tiempo y dinero. [e-book] Barcelona: Babelcube. Available at: Google books <<https://books.google.com.mx/books?id=l2B7DwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>> [Accessed 26 January, 2019].
- Wu, F., Ghamkhar, R., Ashton, W. and Hicks, A.L. 2019, Sustainable Seafood and Vegetable Production: Aquaponics as a Potential Opportunity in Urban Areas. *Integr Environ Assess Manag*, [e-journal] 15: 832-843. Available through: Society of environmental toxicology and chemistry <<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ieam.4187>> [Accessed July 13, 2020].
- Zaini, A., Kurniawan, A., & Herdhiyanto, A. D. 2018. Internet of Things for Monitoring and Controlling Nutrient Film Technique (NFT) Aquaponic. 2018 International Conference on Computer Engineering, Network and Intelligent Multimedia (CENIM). [pdf] Available at: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8711304>> [Accessed July, 29 2019].
- Zárate, E., Fernández, A., Kiuper, D., 2017. Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica. [pdf] Available at: <<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2996/BVE17068913e.pdf;jsessionid=E28711C62FBCA68A0FC7B45ADF3894B1?sequence=1>> [Accessed 26 January, 2019].

X. ANEXOS

Anexo A



Imagen I. Ollero del diámetro del contenedor

Fuente: Elaboración propia



Imagen II. Contenedor enterrado

Fuente: Elaboración propia



Imagen III. Acceso de energía

Fuente: Elaboración propia



Imagen IV. Cama de siembra de PVC sistema hidropónico

Fuente: Elaboración propia



Imagen V. Cama de siembra sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia



Imagen VI. Cama de siembra sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia



Imagen VII. Cortes de poliducto corrugado para biofiltro de sistema acuapónico
Fuente: Elaboración propia

Anexo B



Imagen VIII. Prueba con albahaca para detectar nutrientes.

Fuente: Elaboración propia



Imagen IX. Albahaca 3 semanas después.

Fuente: Elaboración propia



Imagen X. Albahaca 3 semanas después

Fuente: Elaboración propia

Anexo C



Imagen XI. Semillas de lechuga.

Fuente: Elaboración propia



Imagen XII. Semilla de lechuga

Fuente: Elaboración propia



Imagen XIII. Lana de roca

Fuente: Elaboración propia



Imagen XIV. Base de siembra

Fuente: Elaboración propia



Imagen XV. Solución con agua de llave y te de lombriz
Fuente: Elaboración propia



Imagen XVI. Medición del agua de pre-siembra
Fuente: Elaboración propia



Imagen XVII. Lechuga lista para siembra en sistemas acuapónicos e hidropónicos
Fuente: Elaboración propia

A partir de este estudio se presentan las siguientes recomendaciones.

- 1) Primero que todo es importante germinar la planta y esperar a la aparición de las hojas verdaderas para sembrar en cualquier tipo de sistema. Basta con que la planta ya cuente con raíz y haya tenido su primera hoja verdadera.
- 2) Elegir la hortaliza en base a la temporada de siembra que convenga, si la hortaliza a sembrar no coincide con la temporada, esperarse a la época del año viable, si esto no se lleva a cabo es recomendable cambiar de hortaliza o bien utilizar un cuarto de producción para tener control sobre el ambiente.
- 3) Una vez elegido la hortaliza y temporada ideal para su siembra, diseñar el tipo de sistema acuapónico o hidropónico adecuado para la raíz, tallo y hojas.
- 4) Acondicionar el área de siembra en base a las horas del sol al día, humedad, temperatura y necesidades de agua. En este caso se eligió colocar malla tipo Rachel al 90 %.
- 5) Por pertenecer a un lugar de clima tipo desértico se recomienda colocar grava color blanca para reflejar los rayos del sol y que el piso no absorba tanto calor.
- 6) Tapar tanques de 250 L para evitar la entrada de organismos vivos en él como insectos. En este caso se rediseñó la misma tapadera del tanque haciendo un hoyo en forma de círculo y engrapando malla sombra para cortar orificios para las salidas del CPVC y la entrada del agua en recirculación.
- 7) Tener especial cuidado en la inclinación de todo el sistema para evitar desbordes, de preferencia dejar correr el agua 24 h antes de sembrar y ver posibles fugas, poner especial atención en goteos o posibles fallos, repararlos con silicón o corrigiendo la pendiente.
- 8) Que la casa sombra cuente con fuente de agua y de electricidad propias en caso de ser necesario recambio de agua.
- 9) Colocar sistema de ventilación con abanicos.
- 10) Colocar sistema vector de plantas alrededor de la casa sombra, pueden ser albahacas, cilantro o plantas con flor, esto con el objetivo de distraer alguna posible plaga.
- 11) El agua de lluvia es buena para el cultivo, no evitarla.
- 12) Aplicar peróxido de hidrógeno 3 % en todo el piso del área de siembra para desinfección.
- 13) Desinfectar pies antes de entrar a la casa sombra y manejar todo con las manos limpias.
- 14) Formular hojas de registro de datos o bitácora, con horarios de entradas y salidas de personal.
- 15) De ser posible abastecer de fuentes de energías renovables las actividades que se llevan a cabo en la casa sombra y durante la experimentación.

En el caso del sistema acuapónico:

- 16) En el caso del biofiltro la circunferencia de salida debe de ser mayor que la circunferencia de entrada de agua, para evitar fugas en el biofiltro.
- 17) Pesar exactamente las porciones de alimento para peces ya que de él depende la producción de compuestos nitrogenados y el crecimiento de las plantas.
- 18) Verificar comportamiento de peces, estos pueden pelearse o cambiar drásticamente su forma de comer cuando son captados y colocados en el sistema. Si el pez no come en un lapso de 1 hora retirar alimento para evitar aumento de amoniaco en el tanque y no volver a alimentar hasta el día siguiente.
- 19) Tener especial cuidado de los niveles de nitrito y amoniaco durante la siembra, si alguno de los dos rebasa los niveles de 0.25 ppm que explican en el instructivo API, hacer recambio del 25 o 50 % del volumen total del tanque de 250 L para evitar que el pez se estrese y muera.
- 20) Preferiblemente capacitar a una sola persona para llevar a cabo las lecturas de los niveles de amoniaco, nitrito y nitratos. Se recomienda ampliamente revisar el instructivo *Master kit* marca *API*. Esto para evitar falsas lecturas.
- 21) Cada semana revisar la bomba Airon para evitar que se tape la bomba por los sólidos que precipitan en el fondo y son absorbidos por la bomba. Se puede destapar con el chorro del agua limpia y volver a colocarla.

En el caso del sistema hidropónico:

- 22) Tener especial atención sobre los niveles de pH, que el pH se mantenga entre 5.6 - 6.0 para el caso de lechugas, cada hortaliza asimila mejor los nutrientes en diferentes niveles de pH. Si el pH sube, acidificar con ácido nítrico midiendo con potenciómetro, todo al mismo tiempo y con especial cuidado de no bajar demás el pH. En caso de bajarlo demás suministrar más agua.
- 23) La Conductividad Eléctrica (EC) que sea 1.2 en caso de que baje EC verificar el color de las hojas de las plantas y raíces y aplicar fertilizante.