

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



COMPONENTE ECONÓMICO Y NUTRACÉUTICO DE LECHUGA
ACUAPÓNICA SUPLEMENTADA CON POTASIO

Tesis

Que presenta MARIO FRANCISCO GARCÍA ZERTUCHE
como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Saltillo, Coahuila.

Mayo, 2021.

COMPONENTE ECONÓMICO Y NUTRACÉUTICO DE LECHUGA
ACUAPÓNICA SUPLEMENTADA CON POTASIO

Tesis

Elaborada por MARIO FRANCISCO GARCÍA ZERTUCHE como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Protegida con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor Principal

Dr. Valentín Robledo Torres
Asesor

Dr. Adalberto Benavides Mend
Asesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor

Dr. Armando Robledo Oliv
Asesor

Dra. Hortensia Ortega Ortiz
Asesor

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Mayo 200

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo con la beca otorgada a través de su programa de becas de postgrado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida.

Gracias, a mi asesor principal el Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente por su orientación y guía durante este proyecto.

A todo mi comité de asesoría: Dr. Alberto Sandoval Rangel, Dr. Adalberto Benavides Mendoza, Dr. Valentín Robledo Torres, Dr. Armando Robledo Olivo y Dra. Hortensia Ortega Ortiz por su apoyo, consejos y sabiduría durante cada etapa del proyecto.

A Cony y a la muchachada de control escolar postgrado =).

A mis amigos y compañeros de generación, clases y laboratorio, al igual que a todos los profesores del DAP por su ayuda y momentos de alegría.

DEDICATORIA

A mi esposa, Adriana, por su apoyo, que pacientemente aguantaste más de lo que tenías en mente mientras yo estaba trabajando en este grado.

A mis padres por sus consejos y ayuda que me brindan en cada momento de mi vida, al resto de mi familia por su amor y apoyo.

A mis hijos Mario y Daniel por sus sonrisas y risas que me dan alegría todos los días.

A mis abuelos que quiero y extraño.

CARTA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO



Chapingo, Estado de México, 06 de mayo de 2021
Referencia: 2824-21

MC. Mario Francisco García-Zertuche
Estudiante de doctorado en Ciencias
En Agricultura Protegida
Universidad Autónoma
Agraria Antonio Narro
Presente

Por medio de la presente se hace constar que el artículo titulado: 'Rentabilidad y rendimiento agronómico de lechuga acuaponica', de los autores(as): Mario Francisco García-Zertuche, Alberto Sandoval-Rangel, Valentin Robledo-Torres, Adalberto Benavides-Mendoza, Armando Robledo-Olivo y Marcelino Cabrera-de la Fuente, fue aceptado para ser publicado en el Vol. Exp. (27) 2021 de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Acreditamiento

204N6FWpR26Xw=VhUy2g==EYK6y6U6RYw0Tq0dHFD88Fp=

Dra. Dora Ma. Sangerman-Jarquín
Editora en Jefe de la Revista
Mexicana de Ciencias Agrícolas

cop. *archivo

Carretera Los Reyes-Tenexco, km 11.5, Coahuilchán, Tenexco, Estado de México, México. C. P. 56250
E-mail: revista_ata@yahoo.com.mx. Tel. y Fax: 01 595 9212881

SEGUNDO ARTÍCULO ENVIADO

[CienciaUAT] Acuse de recibo de envío



cienciauat@uat.edu.mx



Fecha: 10/05/2021 17:34

Para: M.C. Mario Francisco García Zertuche <d_mfrancisco.garciaz@uaaan.edu.mx>

Estimado/a M.C. Mario Francisco García Zertuche:

Le comunico que hemos recibido el manuscrito que nos ha enviado. Los responsables del área editorial de la revista CienciaUAT lo revisarán para que cumpla con las normas editoriales antes de enviarlo al editor de área, quien le asignará evaluadores externos. Este proceso es importante porque disminuye la cantidad de observaciones que hacen tanto editores como evaluadores con relación a problemas de formato y estructura. Además, hemos observado que aumenta la posibilidad de lograr que los artículos se publiquen.

Gracias por enviar el manuscrito "El potasio como inductor de la calidad comercial y nutracéutica en lechuga (*Lactuca sativa*) producida en estanques piscícolas: Calidad Nutracéutica en Acuaponía" a CienciaUAT. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito: <https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/authorDashboard/submission/1589>

Nombre de usuario/a: mgarciazertuche

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. José Alberto Ramírez de León

CienciaUAT - Quedamos a sus órdenes

<http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT>

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Agricultura y La producción de alimentos	3
Retos de la agricultura actual	3
Productividad del agua.....	4
Sistema de producción acuaponica	4
Modificaciones en el ambiente	5
Calidad nutracéutica de la lechuga.....	6
Superficie sembrada a nivel Mundial y en México.....	6
Componente Económico y costos de producción	8
Valor Actual Neto (VAN)	8
Tasa Interna de Retorno (TIR).....	8
Relación Beneficio Costo (RB/C).....	9
Retorno Sobre la Inversión (ROI).....	9
PRIMER ARTÍCULO.....	11
RENTABILIDAD Y RENDIMIENTO AGRONÓMICO DE LECHUGA ACUAPÓNICA	11
SEGUNDO ARTÍCULO.....	33
EL POTASIO COMO INDUCTOR DE LA CALIDAD COMERCIAL Y NUTRACÉUTICA EN LECHUGA (<i>LACTUCA SATIVA</i>) PRODUCIDA EN ESTANQUES PISCÍCOLAS	33
CONCLUSIONES GENERALES	52
REFERENCIAS	53

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el potencial para el desarrollo de la agricultura está influenciado y afectado por múltiples factores como el cambio climático, la escasez de suelos fértiles, recursos hídricos y forestales (Jin N, 2018) aunado a esto también afecta el consumo irracional de los recursos naturales debido a la urbanización acelerada y crecimiento poblacional (Wada Y, 2014). El desafío para la agricultura en el año 2050 es el de aumentar la producción de alimentos en más del 70% para satisfacer la demanda de la población enfrentando el problema de escasez de agua (Narayanan K, 2020), el crecimiento del sector agrícola tendrá que ser generado mediante el aumento en la productividad del agua y el rendimientos en cosecha.

Una solución a la problemática anterior es el optimizar el uso de los recursos naturales logrando generar una producción de alimentos más sustentable (Huong N, 2018), lo que implica implementar distintas técnicas como la integración de sistemas productivos para aumentar la productividad del agua (Velasco J, 2018; Narayanan K, 2020). Uno de los sistemas de producción más prometedores para aumentar y optimizar la productividad del agua es la acuaponía que utiliza el método combinado para producir peces y hortalizas sin suelo mediante un sistema de recirculación de agua haciendo de este una opción sustentable para la industria alimenticia (Yanes A, 2020).

En la acuaponía la nutrición de las plantas debe de estar en un adecuado equilibrio entre macronutrientes y micronutrientes en el sistema acuícola ya que las plantas absorben los minerales de este (Rackocy J, 2012), sin embargo los nutrientes del cuerpo de agua no satisfacen las necesidades nutricionales de las plantas al 100% (Nozzi V, 2018).

Siendo el K^+ el ión de mayor abundancia en las células vegetales es esencial para el crecimiento de las plantas (Ahmad I, 2014; Zörb C, 2014) este interviene en procesos metabólicos y biológicos como homeostasis iónica, actividades enzimáticas, transpiración, fotosíntesis, crecimiento celular entre otras más (Shin R, 2017; Grzebisz W, 2013; Dreye I, 2014). Es esencial el investigar cómo las plantas asimilan la absorción

del K^+ en sus diferentes presentaciones en los sistemas acuaponicos ya que su adecuada administración puede ser clave para generar ventajas competitivas al incrementar los rendimientos en la cosecha y a su vez lograr mayor productividad del agua.

Las hortalizas de hoja son los cultivos más comunes en los sistemas acuaponicos debido a sus ciclos cortos de producción (Yep B, 2019), Gómez (2015) y Rodríguez (2015) mencionan que las lechugas, espinacas y albahaca, pueden establecerse en sistemas acuaponicos sencillos debido a que muestran bajos requerimientos nutrimentales.

Sin embargo, para que una empresa pueda ser exitosa y crecer comercialmente es necesario que logre ventajas competitivas, es decir que genere participación en el mercado en función de precio y calidad (Rice, 2013). Hoy en día los proyectos productivos y empresas están enfocadas al alcance de sus objetivos mediante la aplicación de análisis económicos, financieros y de costos de producción (Hormgren C, 2012; Yagi M, 2018) para determinar la eficiencia de los recursos aplicados.

Yagi y Kokubu (2018) mencionan que todo proyecto productivo debe ser respaldado por un análisis de rentabilidad económico financiero, la información que se genera a través de estas herramientas es útil para la toma de decisiones (Ramli I, 2014).

Diferentes autores mencionan que por su valoración en unidades monetarias los análisis de rentabilidad económico financiero mediante distintos indicadores de factibilidad financiera sirven para la toma de decisiones (Ramli I, 2014; Smith M, 2014; Ofileanu D, 2014) siendo el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio costo (RB/C) y retorno sobre la inversión (ROI), los indicadores financieros más comunes para determinar los análisis de rentabilidad económico (Zao X, 2016).

Considerando los problemas que enfrenta el sector agrícola en la actualidad, la factibilidad económica del sistema de producción acuaponico lechuga raíz flotante y la relación del K^+ con la calidad nutraceutica de los cultivos, el objetivo de esta investigación fue conocer la viabilidad comercial del sistema acuaponico al igual que la sustentabilidad financiera de un proyecto de mediano plazo (seis años) y las ventajas competitivas que los diferentes mejoradores de calidad ofrecen al modificar la calidad nutraceutica de las lechugas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Agricultura y La producción de alimentos

La agricultura es la responsable de producir el 70% de los alimentos en el mundo lo que la hace ser el principal consumidor de agua (Zheng H, 2018), sin embargo la distribución de la agricultura en la actualidad tiene un contraste en las diferentes regiones del mundo donde por un lado existe gran desarrollo tecnológico y expansión en áreas naturales y por otro lado el abandono de tierras agrícola (Levers C, 2018), teniendo en cuenta que el desarrollo del sector agrícola se basa en la expansión de las áreas de cultivo (Smilovic M, 2018), se requiere de sistemas de producción alternativos y sustentables que ayuden a optimizar el uso eficiente del agua para la producción de alimentos (Cabrera, 2014; Ríos J, 2016; Velasco J, 2018).

Retos de la agricultura actual

El estrés hídrico e inseguridad alimentaria son dos grandes retos que enfrenta la agricultura, y las regiones más afectadas serán las zonas rurales áridas y semiáridas del mundo, donde se practica la agricultura de temporal y el uso del agua para riego se ve limitado por falta de tecnología o recurso económico (Jin N R. W., 2018; Mandal S, 2020). Kazem (2020) menciona que existen tres fuentes de pérdida de agua en los riegos agrícolas: la evaporación del agua en la superficie de la tierra, la pérdida por filtración de drenaje (escorrentía y percolación) y las pérdidas por derrame.

Mazzoni (2018) comenta que la escasez de agua se puede identificar a cuatro niveles:

- Lugares en donde no hay agua disponible para el consumo humano y saneamiento local, esto tiene impacto en el bienestar humano.
- Falta de agua para abastecer los sectores de producción agrícola e industrial.
- Agua que se utiliza para servicios que se consideran elementales para el bienestar.
- Agua que se requiere en los ecosistemas para garantizar los servicios necesarios para la vida en la Tierra.

Molden (2010) indica las áreas prioritarias para considerar mejoras en la productividad del agua son:

- Áreas donde la pobreza es alta y la productividad del agua baja
- Áreas de escasez física de agua (existe alta competencia por el agua)
- Áreas con poco desarrollo de recurso hídrico (uso adicional del agua marca una gran diferencia)
- Áreas de degradación de ecosistemas (deseccación de ríos)

Diversos autores mencionan que se debe tener en cuenta que toda actividad de reutilización de agua en cuencas o riegos puede compensar las pérdidas percibidas a escala de campo en términos de cantidad de agua (Gheewala, 2017; Brauman, 2013).

Productividad del agua

Huang (2020) menciona que es fundamental realizar una agricultura sustentable basada en la optimización del recurso hídrico, el término productividad del agua se puede definir como la relación entre los beneficios netos de los cultivos y la cantidad de agua utilizada en los diferentes sistemas de producción (Li M, 2020). Ríos (2016) menciona que producir más alimentos, ingresos, medios de vida y beneficios ecológicos a un menor costo social y ambiental por unidad de agua consumida es el incrementar la productividad del agua.

Li (2020) y Mekonnen (2020) definen a la productividad del agua en dos vertientes, la productividad física del agua: producción agrícola y la cantidad de agua consumida, más cultivos por gota utilizada y la productividad económica del agua: valor derivado por unidad de agua utilizada. Siendo el suministro o agotamiento del agua el denominador de la ecuación para la productividad del agua.

Sistema de producción acuaponica

König (2018) menciona que la acuaponía es uno de los sistemas agrícolas más sustentables por el hecho de que logran incrementar la productividad del agua aumentando la producción de alimentos.

Distintos autores consideran a los sistemas acuapónicos por su doble propósito (producción de peces y plantas), como la solución al problema de disponibilidad limitada del agua, contaminación ambiental, incremento en costos de fertilización (Bosma R, 2017; Mirzoyan N., 2018).

Rackocy (2012) y Yep (2019) mencionan que generalmente los niveles de potasio (K^+), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg) son insuficientes, por lo que se requiere una nutrición suplementaria de estos elementos para el crecimiento óptimo de las plantas, los nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4^{-2}) y sulfatos (SO_4) generados en el sistema acuapónica son suficientes para el crecimiento de las plantas.

Modificaciones en el ambiente

Las modificaciones en el ambiente generan estrés oxidativo en las plantas a través de la oxidación de los compuestos celulares en sus diferentes organelos, lo que inactiva distintas funciones de la célula generando daño celular, esto a través de la generación de especies reactivas de oxígeno (RSO) (Chen J, 2012).

Las plantas continuamente producen RSO en sus diferentes organelos celulares, y estos son removidos por un complejo sistema antioxidante, en el que participan enzimas, proteínas y otros metabolitos que permiten mantener la homeostasis celular (Benezer M, 2008).

El control de los antioxidantes se logra a través de la inducción de los mecanismos antioxidantes de defensa que se componen de metabolitos como el ascorbato (ASC), el glutatión (GSH), el tocoferol, diversos metabolitos secundarios y los limpiadores enzimáticos de las RSO como las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y peroxidasas (POD) (Benezer M, 2008). Estos compuestos antioxidantes son reconocidos por sus efectos benéficos en la salud de los consumidores (Pérez S, 2017).

Calidad nutracéutica de la lechuga

La lechuga es baja en calorías, grasa y sodio, es una muy buena fuente de fibra, hierro, ácido fólico y vitamina C, al igual que es otra forma de adquirir compuestos bioactivos beneficiosos para la salud como antiinflamatorio, reductor del colesterol y compuestos antidiabéticos se le atribuyen a la lechuga (Kim M, 2016)

Por ser la lechuga un alimento que se consume fresco y crudo, más nutrientes son retenidos en comparación con otros vegetales que se cocinan o procesan, además en el consumo de ensaladas se utilizan las primeras hojas (cotiledones) o las plántulas (germinados) últimamente más populares en lo culinario (Xiao Z, 2012), esto lleva a que los productores tengan una perspectiva diferente sobre el cultivo y generar mayor utilidad al acortar los tiempos de cosecha.

La lechuga por más popular y consumida que sea, no ha sido incluida como un alimento nutricional por su alto contenido de agua (95%), aunque su calidad nutracéutica puede ser equivalente a otros vegetales conocidos como “nutritivos” teniendo en cuenta la variedad de la lechuga (Kim M, 2016).

La lechuga es uno de los vegetales de mayor consumo a nivel mundial (Yang T, 2019), se consume en fresco, y tiene un gran contenido de nutrientes como vitaminas A, C, E, B1, B2, B3, B9, al igual que fósforo, hierro, calcio, potasio y son ricas en antioxidantes y aminoácidos (Carranza C, 2009) en comparación con otros vegetales que se cocinan o procesan (Xiao Z, 2012).

Superficie sembrada a nivel Mundial y en México

En el año 2016 en el ranking mundial el primer lugar lo obtuvo China con una producción de 13, 654,570 toneladas, es el país líder en superficie cosechada y producción de esta hortaliza a nivel mundial, México quedó en el noveno lugar con una producción de 406,678 toneladas siendo 1.6% de la producción mundial (SIAP, 2017).

Como lo dice su nombre “Baby leaf” haciendo referencia a sus hojas tiernas que se recolectan cuando su tamaño aun es bastante pequeño (entre ocho y 12 centímetros). Es

una hortaliza considerada de especialidad por estar orientada al segmento del mercado gourmet, por su diversidad de texturas y colores, su producción principal en el país es en el estado de Baja California (SIAP, 2017).

La variedad Escarola tiene un sabor ligeramente amargo y se caracteriza por sus hojas rizadas de color verde y rojo, es de fácil digestión, depurativa y diurética y es la verdura con mayor contenido de ácido fólico, esta variedad se produce en la Ciudad de México (SIAP, 2018)

La lechuga orejona tiene sus hojas largas y de textura crujiente de color verde oscuro y alrededor de 17% es proteína, los principales estados productores son Guanajuato y Puebla (SIAP, 2018).

La variedad de lechuga más común es la Romana se caracteriza por tener forma similar a la de una col, sus hojas son largas y redondas, crujientes y de sabor suave y acuoso, es la más utilizada en sin fin de platillos, los estados con mayor producción son Guanajuato, Zacatecas y Aguascalientes (SIAP, 2018).

La lechuga es una planta herbácea de sabor suave, por lo general, es de color verde intenso que se va aclarando hacia el tronco y oscureciendo hacia la punta de las hojas, en los últimos años se cosecharon cuatro variedades en el país: Baby leaf, Escarola, Orejona y Romana (SIAP, 2018).

Dentro del estudio que desarrollo Sharma (2014) en los estados unidos donde se reportó la participación de hombres y mujeres de distintos grupos étnicos, la lechuga fue el vegetal más consumido en todos los grupos y géneros con la excepción mujeres Afroamericanas y mexicanos nacidos en los estados unidos.

Componente Económico y costos de producción

Los análisis de producción equivalente generan información esencial para la toma de decisiones mediante la comparación de las cifras reales de los costos de producción contra las presupuestadas ofreciendo así ventajas competitivas a los productores (Torrado P, 2020).

Los resultados obtenidos en los análisis anteriores por su valoración en unidades monetarias sirven como indicadores de productividad y rentabilidad y logran determinar si las distintas decisiones tomadas son alternativas efectivas para mejorar la competitividad en los negocios (Smith M, 2014).

Valor Actual Neto (VAN). Para determinar el VAN se utilizó la ecuación (1) propuesta por Stewart *et al.*, (Stewart J, 2001.).

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \left(\frac{Fn}{(1+r)^n} \right) = -1 + \frac{F1}{(1+r)} + \frac{F2}{(1+r)^2} + \frac{Fn}{(1+r)^n} \dots (1)$$

Dónde: $-I_0$)= equivale la inversión inicial del proyecto, F_n)= diferencia entre el flujo de efectivo de los ingresos con los gastos en la vida útil del proyecto, n)= vida útil del proyecto y r)= tasa mínima de retorno (TMR) o la tasa de interés que se le atribuye al proyecto.

Para interpretar los resultados de la ecuación del valor actual neto se utiliza la siguiente escala:

- $VAN > 0$, el proyecto es aceptado.
- $VAN < 0$, el proyecto es rechazado.
- $VAN = 0$, la decisión es indiferente si se acepta o se rechaza.

Tasa Interna de Retorno (TIR). Para obtener la TIR ecuación (2) dentro de la ecuación (1) el valor de r^* se sustituye por 0 y el valor de la TIR que varía según el porcentaje de utilidad que el inversionista está dispuesto a generar por el uso de su capital en el proyecto (Canales S, 2015).

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \left(\frac{Fn}{(1+TIR)^n} \right) = -1 + \frac{F1}{(1+TIR)} + \frac{F2}{(1+TIR)^2} + \frac{Fn}{(1+TIR)^n} = 0 (2)$$

Para lograr interpretar los resultados de la ecuación de la TIR se utiliza la siguiente escala:

- TIR > TMR, el proyecto es aceptado.
- TIR < TMR, el proyecto es rechazado
- TIR = TMR, la decisión de aceptar o rechazar el proyecto es indiferente.

Mellichamp (2017) menciona que la TIR, una medida de rentabilidad ampliamente utilizada, es la Tasa de Descuento que arroja Valor Actual Neto (VAN) = 0 para un flujo de flujos de efectivo positivos y negativos.

Relación Beneficio Costo (RB/C). Para obtener el resultado del indicador relación beneficio costo se dividió el beneficio o utilidad calculada al final del proyecto entre el costo total del proyecto según la ecuación (3) utilizada por Daniels *et al.*, (2019).

$$R_{B/C} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}} \quad (3)$$

Donde: B_j)= ingresos generados durante la vida útil del proyecto, C_j)= costo generado en el transcurso del proyecto, j)= periodo de tiempo que se está evaluando dentro del proyecto, i)= tasa de interés o la TMR y n)= tiempo o vida útil del proyecto.

Para interpretar los resultados del RB/C utilizamos la siguiente escala:

- RB/C < 0, los costos del proyecto son mayores a los beneficios esperados, se rechaza el proyecto de inversión.
- RB/C > 0, los beneficios o utilidades del proyecto son mayores a los costos de inversión, se acepta el proyecto de inversión.

Retorno Sobre la Inversión (ROI). Kousky (2019) menciona que es una herramienta que se utiliza tradicionalmente en el ámbito privado, para evaluar y comparar proyectos de inversiones, una manera simple de interpretarlo es las ganancias netas de un proyecto divididas por los costos del proyecto. Obtener el cálculo del indicador retorno sobre la inversión se utilizó la ecuación (4):

$$\mathbf{ROI} = \frac{\sum_{t=0}^T \mathbf{Rt} / (1+i)^t}{\sum_{t=0}^T \mathbf{Ct} / (1+i)^t} \quad (4)$$

Donde: R_t)= beneficio o utilidad generada a través del tiempo por la inversión realizada,
 C_t)= costo total de la inversión a través del tiempo y i)= tasa de interés.

Para interpretar los resultados del ROI utilizamos la siguiente escala:

- $ROI < 0$, el proyecto de inversión no es rentable.
- $ROI > 0$, el proyecto de inversión si es rentable.

Obteniendo así como resultado el porcentaje que equivale a la utilidad de la inversión.

PRIMER ARTÍCULO

**RENTABILIDAD Y RENDIMIENTO AGRONÓMICO DE LECHUGA
ACUAPÓNICA**

RENTABILIDAD Y RENDIMIENTO AGRONÓMICO DE LECHUGA ACUAPÓNICA

Mario Francisco García-Zertuche¹, Alberto Sandoval-Rangel², Valentín Robledo-Torres², Adalberto Benavides-Mendoza², Armando Robledo-Olivo², Marcelino Cabrera-de la Fuente^{2Φ}

¹Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro #1923 Buenavista, CP 25315 Saltillo Coahuila, México. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro #1923 Buenavista, CP 25315 Saltillo Coahuila, México.

^{2Φ} Autor por Correspondencia: cafum@yahoo.com

RESUMEN

Con el fin de innovar un sistema de producción acuícola que incremente la productividad del agua, se realizó un experimento en una granja acuícola en Saltillo, Coahuila, donde se estableció el cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico denominado raíz flotante, en condiciones de malla sombra y fertilización foliar, se analizaron las variables agronómicas: longitud de raíz, grosor de tallo, altura, peso fresco, número de hojas, área foliar y diámetro de corona en cuatro tratamientos distintos y se analizaron distintos indicadores de rentabilidad: valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio costo (RB/C) y retorno sobre la inversión (ROI) para determinar la factibilidad económica del sistema, por lo que, el objetivo de esta investigación fue determinar el rendimiento agronómico y la rentabilidad económica del sistema productivo de lechuga raíz flotante en condiciones de malla sombra y fertilización foliar. Los resultados obtenidos en las variables de rendimiento agronómico mostraron incrementos en altura, peso fresco, número de hojas, área foliar y diámetro de corona en comparación con su testigo absoluto de 41.77%, 113.90%, 30.43%, 155.92% y 22.22% respectivamente. El análisis de rentabilidad económica

muestra resultados favorables para la inversión adicional. Esta investigación demuestra la viabilidad económica y una mejora en la productividad agronómica de la lechuga raíz flotante en condiciones de malla sombra y fertilización foliar.

Palabras Clave: Producción, Acuaponía, Raíz flotante, Sustentabilidad del agua. Malla sombra

INTRODUCCIÓN

El crecimiento del sector agrícola se basa en la expansión de las áreas de cultivo, sin embargo, hoy en día el potencial para el crecimiento está disminuyendo debido al crecimiento poblacional, disponibilidad de tierras cultivables y la escasez de agua (Wada *et al.*, 2014). Teniendo en cuenta que la agricultura es el principal consumidor de agua a nivel mundial y es la responsable producir el 70% de los alimentos en el mundo (Zheng *et al.*, 2018; Smilovic *et al.*, 2018), Kazem (2020) menciona que existen tres fuentes de pérdida de agua en los riegos agrícolas, la evaporación del agua en la superficie de la tierra, la pérdida por filtración de drenaje (escorrentía y percolación) y las pérdidas por derrame. Aunado a esto el sector agrícola enfrenta dos grandes desafíos, el estrés hídrico e inseguridad alimentaria, y las regiones más afectadas serán las zonas rurales áridas y semiáridas del mundo, donde se practica la agricultura de temporal y el uso del agua para riego se ve limitado por falta de tecnología o recurso económico (Jin *et al.*, 2018; Mandal, 2020). Por lo tanto, se requiere de sistemas de producción alternativos y sustentables que ayuden a optimizar el uso eficiente del agua para la producción de alimentos (Cabrera, 2014; Ríos, 2016; Velazco, 2018).

La integración de sistemas productivos es una alternativa para optimizar el uso de los recursos naturales y generar una producción de alimentos más sustentable (Huong *et al.*, 2018). Los sistemas acuapónicos, que, por su doble propósito, la producción de peces y hortalizas son una actividad sustentable al mejorar la productividad del agua (Mirzoyan *et al.*, 2018; Bosma *et al.*, 2017) mediante el aumento y diversificación de productos. Diversos autores mencionan que se debe tener en cuenta que toda actividad de

reutilización de agua en cuencas o riegos puede compensar las pérdidas percibidas a escala de campo en términos de cantidad de agua (Gheewala, 2017; Brauman, 2013).

Li *et al.*, (2020) menciona que la productividad del agua se define como la relación entre los beneficios netos de los cultivos y la cantidad de agua utilizada en los diferentes sistemas de producción. Por lo anterior, la acuaponía es considerada como una alternativa para solucionar los problemas de agotamiento de suelos fértiles, disponibilidad de agua, contaminación ambiental y demanda de alimentos (Huong *et al.*, 2018).

Las hortalizas de hojas son comunes en estos sistemas, por sus ciclos cortos de producción y bajos requerimientos nutrimentales (Rakocy, 2012). La lechuga es uno de los vegetales de mayor consumo a nivel mundial (Kim *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2019), se consume en fresco, y tiene un gran contenido de nutrientes como vitaminas A, C, E, B1, B2, B3, B9, al igual que fosforo, hierro, calcio, potasio y son ricas en antioxidantes y aminoácidos (Carranza, 2009) en comparación con otros vegetales que se cocinan o procesan (Xiao *et al.*, 2012).

Sin embargo, Yagi y Kokubu (2018) mencionan que todo proyecto productivo debe ser respaldado por un análisis de rentabilidad económico financiero, diferentes autores mencionan que por su valoración en unidades monetarias los análisis de rentabilidad económico financiero sirven como fundamento para la toma de decisiones mediante distintos indicadores de factibilidad financiera (Smith *et al.*, 2014; Ofileanu, 2014; Ramli e Iskandar, 2014), siendo el VAN, TIR, RB/C y ROI, los indicadores financieros más comunes para determinar los análisis de rentabilidad económico (Zhao, 2016). Con base a lo anterior, y con la finalidad de buscar una solución para mitigar o reducir los problemas que enfrenta en la actualidad el sector agrícola, el objetivo del presente trabajo fue determinar la viabilidad económica y productiva de un sistema acuapónico lechuga raíz flotante en condiciones de malla sombra con fertilización foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento fue establecido en la granja de un productor cooperante en el rancho La Joya, ubicado a 25° 14' 52.1" N 101° 16' 0.5" W, en el ejido de Derramadero, en el municipio de Saltillo, Coahuila, México. La granja cuenta con un sistema de engorda acuícola, constituido por 12 estanques circulares de geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE .75 Mn) con esqueleto de soporte metálico, con 10 m de diámetro y 1.20 m de altura por estanque para almacenar un volumen de agua de 94 248 L en su capacidad máxima por estanque. Dentro de cada estanque se tenían sembrados 2 200 alevines de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con la finalidad de producir 2 toneladas de trucha por estanque.

Material Vegetal

Se utilizó como material vegetativo lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Climax de la casa comercial Western Seeds. Esta es una lechuga tipo romana que se caracteriza por presentar cabezas bien formadas con hojas grandes y envolventes, con un tiempo de siembra a cosecha aproximado de 90 a 95 días.

Desarrollo de plántulas y trasplante

Las plántulas se establecieron en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada a 25° 21' 19" latitud norte, 101° 01' 48" longitud oeste, a una altura de 1 779 msnm en Buenavista, Saltillo, Coahuila, en el mes de mayo del 2019 en el departamento de Horticultura en un invernadero de mediana tecnología, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato peat-moss y perlita en una relación 70/30, una vez brotada la semilla, estas fueron regadas dos veces por día, hasta obtener plántulas con tres hojas verdaderas y una altura de 12 cm (30 días posteriores a la emergencia), se llevaron a la granja acuícola para su trasplante donde se extrajeron de

la charola con todo y cepellón, para posteriormente realizar un lavado de raíces a fin de eliminar el sustrato e incorporarlas al efluente acuícola.

El trasplante fue realizado a los 30 días de haber emergido las plantas, donde se colocaron en placas de unisel de cinco centímetros de espesor y un metro cuadrado, trazando una densidad de población de 20 plantas por m², en los tanques de geomembrana.

Nutrición vegetal

La fertilización foliar se realizó tomando como referencia la solución Steiner (1961) rebajada al 75% y está misma aplicada en diferentes concentraciones en función de la etapa fenológica del cultivo, siguiendo una fertilización foliar al 25% en su etapa de trasplante, 50% desarrollo, 75% en etapa de crecimiento y al 100% en la etapa final, aplicando cada tercer día después del trasplante.

Tratamientos

Se analizaron cuatro tratamientos (T) con 10 repeticiones por tratamiento.

T1) Sin Malla Sombra (SM) y Sin Fertilización Foliar (SF).

T2) Sin Malla Sombra (SM) y Con Fertilización Foliar (CF).

T3) Con Malla Sombra (CM) y Sin Fertilización Foliar (SF).

T4) Con Malla Sombra (CM) y Con Fertilización Foliar (CF).

Medición del Rendimiento Agronómico

Para la medición de las variables agronómicas, se recolectó todo el material vegetativo del experimento del rancho La Joya, alrededor de las 10:00 a.m. para su medición en campo y posterior mente fue llevado al laboratorio de cultivo de tejidos del

departamento de Horticultura en la UAAAN. Las variables evaluadas fueron: longitud de raíz, grosor de tallo, altura de la planta, peso fresco, número de hojas, área foliar y diámetro de la corona.

Para la medición de longitud de raíz y altura se utilizó una cinta métrica, donde se tomó en cuenta para la medición de la raíz la base de la lechuga hasta la punta de la raíz, y para la altura se tomó en cuenta de la base de la lechuga hasta la parte superior de la hoja, el peso fresco se obtuvo de los pesos individuales de las plantas de los distintos tratamientos en la etapa final de cosecha, para lo anterior se utilizó una balanza de la marca AND HR-200 (Max 210 g d = 0.1 mc), el área foliar se midió al finalizar el estudio con un medidor portátil de área foliar modelo LI-500, el diámetro comercial se consideró la longitud de la circunferencia cultivo en su etapa final al cosechar (C/π) para obtener el área de corona se tomó en cuenta la mitad del diámetro comercial por planta ($\pi*r^2$) y se utilizó un vernier digital de la de marca STEREN HER-411 con precisión: ($\pm 0,1$ mm) y resolución: (0,1 mm) Versión 0.0 para medir el grosor de tallo.

Medición de la Factibilidad Económica

Se realizó un análisis de factibilidad económica utilizando la metodología de proyecto de inversión y se introdujeron los costos de producción del sistema alternativo malla sombra con fertilización foliar extrapolando la producción a una hectárea, cotizando los productos y equipos utilizados en la zona cercana a la ciudad de Saltillo, Coahuila, mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1. Costos de Producción Sistema Lechuga Acuapónica con Malla Sombra y Fertilización Foliar

Conceptos	Costo unitario	Unidades x ha	Costo ha
<i>Costo Variable</i>			
Semilla	\$ 0.0017	200000	\$ 1,026.00
Plántulas	\$ 0.30	199680	\$ 179,712.00
Fertilizantes 75%	\$ 14.05	40 días d/trasplante	\$ 1,686.00
Fertilizantes 50%	\$ 7.02	70 días d/trasplante	\$ 1,474.20
Fertilizantes 25%	\$ 3.51	90 días d/trasplante	\$ 947.70
Aminoácidos	\$ 800.00	4.25 L día (30 días)	\$ 306,000.00
Bralic repelente ajo	\$ 500.00	4.25 L día (30 días)	\$ 191,250.00
Total Costo Variable			\$ 682,095.90
<i>Inversión adicional</i>			
Malla Sombra	\$ 9,500.00	128 estructuras	\$ 1,216,000.00
Sujetador	\$ 0.30	199680	\$ 59,904.00
Charolas	\$ 65.00	9984	\$ 648,960.00
Total Inv. Adicional			\$ 1,924,864.00
<i>Costos Fijos</i>			
Gastos administrativos	\$ 15,000.00	12	\$ 180,000.00
Gastos de operación	\$ 31,300.00	12	\$ 375,600.00
Total Costo Fijo			\$ 555,600.00
<i>Costo total</i>			\$ 1,237,695.90

Nota: Los Costos de Producción del Sistema Lechuga Acuapónica con Malla Sombra y Fertilización Foliar se calcularon para tres ciclos productivos en un año, tomando en

cuenta los costos de producción como inversión adicional a la granja acuícola de los productores cooperantes se extrapolaron los datos a una hectárea de producción.

Valor Actual Neto (VAN). Para determinar el VAN se utilizó la ecuación (1) propuesta por Stewart *et al.*, (2001).

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \left(\frac{Fn}{(1+r)^n} \right) = -1 + \frac{F1}{(1+r)} + \frac{F2}{(1+r)^2} + \frac{Fn}{(1+r)^n} \dots \quad (1)$$

Donde: $-I_0$)= equivale la inversión inicial del proyecto, F_n)= diferencia entre el flujo de efectivo de los ingresos con los gastos en la vida útil del proyecto, n)= vida útil del proyecto y r)= tasa mínima de retorno (TMR) o la tasa de interés que se le atribuye al proyecto.

Para interpretar los resultados de la ecuación del valor actual neto se utiliza la siguiente escala:

- $VAN > 0$, el proyecto es aceptado.
- $VAN < 0$, el proyecto es rechazado.
- $VAN = 0$, la decisión es indiferente si se acepta o se rechaza.

Tasa Interna de Retorno (TIR). Para obtener la TIR ecuación (2) dentro de la ecuación (1) el valor de r^* se sustituye por 0 y el valor de la TIR que varía según el porcentaje de utilidad que el inversionista está dispuesto a generar por el uso de su capital en el proyecto (Canales, 2015).

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \left(\frac{Fn}{(1+TIR)^n} \right) = -1 + \frac{F1}{(1+TIR)} + \frac{F2}{(1+TIR)^2} + \frac{Fn}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (2)$$

Para lograr interpretar los resultados de la ecuación de la TIR se utiliza la siguiente escala:

- $TIR > TMR$, el proyecto es aceptado.

- $TIR < TMR$, el proyecto es rechazado
- $TIR = TMR$, la decisión de aceptar o rechazar el proyecto es indiferente.

Mellichamp (2017) menciona que la TIR, una medida de rentabilidad ampliamente utilizada, es la Tasa de Descuento que arroja Valor Actual Neto (VAN) = 0 para un flujo de flujos de efectivo positivos y negativos.

Relación Beneficio Costo (RB/C). Para obtener el resultado del indicador relación beneficio costo se dividió el beneficio o utilidad calculada al final del proyecto entre el costo total del proyecto según la ecuación (3) utilizada por Daniels *et al.*, (2019).

$$R_{B/C} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}} \quad (3)$$

Donde: B_j)= ingresos generados durante la vida útil del proyecto, C_j)= costo generado en el transcurso del proyecto, j)= periodo de tiempo que se está evaluando dentro del proyecto, i)= tasa de interés o la TMR y n)= tiempo o vida útil del proyecto.

Para interpretar los resultados del RB/C utilizamos la siguiente escala:

- $RB/C < 0$, los costos del proyecto son mayores a los beneficios esperados, se rechaza el proyecto de inversión.
- $RB/C > 0$, los beneficios o utilidades del proyecto son mayores a los costos de inversión, se acepta el proyecto de inversión.

Retorno Sobre la Inversión (ROI). Para obtener el cálculo del indicador retorno sobre la inversión se utilizó la ecuación (4):

$$ROI = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{R_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+i)^t}} \quad (4)$$

Donde: R_t)= beneficio o utilidad generada a través del tiempo por la inversión realizada, C_t)= costo total de la inversión a través del tiempo y i)= tasa de interés.

Una forma para corroborar el resultado de la ecuación del ROI es la siguiente:

Donde las utilidades netas son los ingresos menos el costo de producción, con la ecuación (5):

$$\text{ROI} = \frac{(I - C)}{C} * 100 \quad (5)$$

Donde: I)= ingreso o utilidad generada, C)= costo de la inversión elaborado.

Para interpretar los resultados del ROI utilizamos la siguiente escala:

- $\text{ROI} < 0$, el proyecto de inversión no es rentable.
- $\text{ROI} > 0$, el proyecto de inversión si es rentable.

Obteniendo así como resultado el porcentaje que equivale a la utilidad de la inversión.

Kousky (2019) menciona que es una herramienta que se utiliza tradicionalmente en el ámbito privado.

para evaluar y comparar proyectos de inversiones, una manera simple de interpretarlo es las ganancias netas de un proyecto divididas por los costos del proyecto.

Diseño Experimental

El experimento se estableció con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x2, donde el primer factor es el uso de malla sombra y el segundo factor es la aplicación de fertilización foliar, sin fertilización (SF) y con fertilización (CF), con un total de cuatro tratamientos (T) y 10 repeticiones por tratamiento.

Análisis estadístico

Los resultados de cada una de las variables agronómicas evaluadas se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), y se aplicó la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher para comparar las medias ($p \leq 0.05$), en el programa estadístico InfoStat/L.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de rendimiento agronómico

Factor malla sombra

Para la variable de longitud de raíz no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, (Tabla 2), lo que indica en este caso que no se modificó el crecimiento radicular al usar malla sombra, sin embargo, Reyes (2016) menciona que depende mucho del cultivo acuapónico que se esté desarrollando al igual que el sistema acuapónico con el que se esté trabajando.

Los resultados del análisis estadístico muestran para la variable grosor de tallo que el Testigo absoluto (T1) tiene un 10.69% más que el T4 el cual se encontraba en malla sombra y con fertilización foliar. Choosakul (2017) obtuvo resultados similares donde el grosor del tallo de sus lechugas también es mayor en la lechuga cultivada sin malla sombra.

Para las variables altura, peso fresco, número de hojas, área foliar y diámetro de corona el T4 muestra diferencia estadística en comparación con el testigo absoluto, siendo 41.77%, 113.90%, 30.43%, 155.92% y 22.22% respectivamente mayor que el T1, diferentes autores como, Espinoza *et al.*, (2016) y Ayala *et al.*, (2011) reportaron efectos positivos en altura con el uso de malla sombras en chile manzano (*Capsicum pubescebc*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) respectivamente, Gaurav *et al.*, (2016) menciona que

las plantas cultivadas bajo malla sombra producen mayor biomasa y follaje que las cultivadas en campo abierto.

Choosakul (2017) en su investigación menciona que el área foliar de las hojas de lechuga que se encontraban en malla sombras de diferentes colores se registraron más grandes que las que estaban en condiciones de campo abierto. Fu *et al.*, (2012) señala que la alta intensidad de la luz promueve el crecimiento de la lechuga, sin embargo, este efecto promotor del crecimiento se satura a un cierto nivel de intensidad de luz, y los rangos recomendados para la producción de lechuga son de 400 a 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$.

Factor de fertilización foliar

Para el factor de fertilización foliar no se presentaron diferencias significativas (Tabla 2), en las variables agronómicas evaluadas de longitud de raíz, grosor de tallo, peso fresco, numero de hojas, área foliar, diámetro de corona, Nozzi *et al.*, (2018) obtuvo resultados similares donde al desarrollar un estudio con diferentes aplicaciones de nutrición foliar a un sistema de lechuga raíz flotante no obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, al igual que Pickens (2015) reportó que no hubo diferencias significativas entre tratamientos al evaluar tomates cherry (*Solanum lycopersicum var. cerasiforme*) regados con efluente acuícola y fertilización foliar.

Sin embargo, para la variable altura el T4 mostró una diferencia de 16.55% en comparación con el testigo absoluto, lo que coincide con Roosta (2011, 2012), donde mencionan que el suplemento de nutrientes de forma foliar en sistemas acuapónicos mejora la productividad de las plantas.

Factor Malla y Fertilización

En la interacción de factores (Tabla 2), para la variable de longitud de raíz no se observan diferencias estadísticas, sin embargo para las variables grosor de tallo, altura, peso fresco, numero de hojas, área foliar y diámetro de corona se obtuvieron diferencias

estadísticas entre tratamientos que se debieron a que la malla sombra que favoreció el crecimiento de los cultivos, a lo que Mudau *et al.*, (2017) menciona en su trabajo realizado con espinacas (*Spinacia oleracea L.*) que el crecimiento vegetativo de los cultivos se ve más pronunciado en plantas cultivadas bajo malla sombras en comparación con plantas cultivadas en campo abierto, también Choosakul (2017) menciona que el uso de malla sombra de cualquier tipo de color logra aumentar el crecimiento de los cultivos. Por otra parte, el uso de malla sombra con aplicaciones foliares incremento el diámetro de corona, lo que Yep *et al* (2019) menciona que el suplemento de nutrientes de forma foliar si mejora la productividad de las plantas en sistemas acuapónicos, debido a que se suministra de forma adicional los elementos faltantes en los efluentes acuícolas.

Tabla 2. Interacción entre Ambientes de Producción para Variables Agronómicas de Lechuga Cultivadas en un Sistema Acuapónico con Malla Sombra y Fertilización Foliar

Factor	Longitud de Raíz	Grosor de Tallo	Altura	Peso Fresco	Numero Hojas	Área Foliar	Diámetro de Corona	
Sin Malla	22.38 a	1.76 a	6.44 b	37.62 b	11.50 b	39.16 b	9.00 b	
Con Malla	21.06 a	1.59 b	9.13 a	80.47 a	15.00 a	100.22 a	11.00 a	
Sin Fertilización	21.56 a	1.73 a	7.19 b	54.74 a	13.00 a	65.63 a	9.88 a	
Con Fertilización	21.88 a	1.63 a	8.38 a	63.34 a	13.50 a	73.75 a	10.13 a	
SM	SF	21.63 a	1.83 a	5.63 c	34.84 b	11.50 b	36.13 b	8.88 b
SM	CF	23.13 a	1.70 a	7.25 b	40.40 b	11.50 b	42.19 b	9.13 ab
CM	SF	21.50 a	1.63 b	8.75 a	74.64 a	14.50 a	95.13 a	10.88 ab
CM	CF	20.63 a	1.55 b	9.50 a	86.29 a	15.50 a	105.31 a	11.13 a

SM (Sin Malla Sombra), CM (Con Malla Sombra), SF (Sin Fertilización Foliar), CF (Con Fertilización Foliar), los valores con diferentes literales son significativamente diferentes (Fisher LSD ≤ 0.05).

Análisis Económico

El análisis económico fue realizado en un escenario con bajo precio de venta para tener panorama pesimista y poder ofrecer una mejor alternativa en la toma de decisiones, para el cálculo de vida útil del proyecto se estableció un panorama a seis años descrito en la Tabla 3, siendo este factible con los resultados de los diferentes indicadores positivos.

Tabla 3. Análisis de Rentabilidad Económico del Sistema Productivo

6 años	0	1	2	3	4	5	6
Plantas		199680	199680	199680	199680	199680	199680
Precio de venta		\$ 9.50	\$ 9.50	\$ 9.50	\$ 9.50	\$ 9.50	\$ 9.50
Ingresos		\$1,896,960.00	\$1,896,960.00	\$1,896,960.00	\$1,896,960.00	\$1,896,960.00	\$1,896,960.00
Costo Fijo		\$555,600.00	\$583,380.00	\$612,549.00	\$643,176.45	\$675,335.27	\$709,102.04
Costo Variable		\$682,095.90	\$716,200.70	\$752,010.73	\$789,611.27	\$829,091.83	\$870,546.42
Costo Total		\$1,237,695.90	\$1,299,580.70	\$1,364,559.73	\$1,432,787.72	\$1,504,427.10	\$1,579,648.46
Saldo		\$659,264.10	\$597,379.31	\$532,400.27	\$464,172.28	\$392,532.90	\$317,311.54
Flujo Efectivo	-\$ 1,924,864.00	\$659,264.10	\$597,379.31	\$532,400.27	\$464,172.28	\$392,532.90	\$317,311.54
VAN	\$47,908.30						
TIR	16%	VPN	\$0.00	Σ Ingreso neto	\$1,972,772.30	TI	15%
				Σ Ingreso bruto	\$7,179,012.29		
		RB/C	1.379	Σ Costos	\$5,206,239.99	ROI	\$ 1.02
				$\Sigma C + Inversión$	\$7,131,103.99		

Nota: El precio de venta fue el peor de los escenarios posibles para la venta de lechuga en el periodo.

La TIR solo es 1% mayor al TMR o tasa de interés, y la RB/C de 1.38 quiere decir que por cada peso invertido en el proyecto se generan .38 centavos, al igual que el ROI por cada peso invertido el retorno de la inversión es de .02 centavos, siendo estos resultados bajos significando que el riesgo es mayor al ser un resultado que está en los límites

aceptables, esto se debe al panorama pesimista en el cual desarrollamos en análisis económico y la vida útil del proyecto.

CONCLUSIONES

El cultivo de lechuga acuapónica en condiciones de raíz flotante y malla sombra, mostró ser más eficiente en cuanto al desarrollo del cultivo presentando incrementos en el rendimiento agronómico.

El sistema lechuga raíz flotante en condiciones de malla sombra y fertilización foliar, mostró ser rentable a través de los diferentes indicadores económicos.

No se observó influencia de la interacción fertilización foliar y la malla sombra en las diferentes variables de rendimiento evaluadas, por lo anterior se puede lograr ser más rentable al bajar los costos variables de producción omitiendo el gasto por fertilización foliar, lo que muestra una eficiencia productiva en el uso del efluente acuícola como nutrición para el cultivo de lechuga, es importante resaltar, que el sistema lechuga raíz flotante en condiciones de malla sombra presenta una factibilidad económica positiva en una vida útil de seis años, además la lechuga que proviene de sistemas en condiciones de agricultura protegida se caracteriza por tener un sobreprecio y es de mayor aceptación en el mercado.

LITERATURA CITADA

- Ayala-Tafoya F, Zatarain-López D, Valenzuela-López M, Partida-Ruvalcaba L, Velázquez-Alcaraz T, Díaz-Valdés T, Osuna-Sánchez JA. 2011. Crecimiento y rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum*) en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*. 29: 403-410.
- Bosma RH, Lacambra L, Landstra Y, Perini C, Poulie J, Schwaner MJ, Yin Y. 2017. The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering*. 78: 146–154.
- Brauman A, Siebert S, Foley A. (2013). Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security—a global analysis. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024030.
- Cabrera R. 2014. Alternative Water Sources for Urban Landscape Irrigation in Arid Regions. *Journal of Arid Land Studies*. 24-1: 89-92.
- Canales S, Ricardo José. 2015. Criterios para la toma de decisión de inversiones. Departamento de Economía UNAM-Managua. *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*. 3: 5
- Carranza Carlos, Lancho Octavio, Miranda Diego, Chaves Bernardo. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “Batavia” cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*. 27(1)
- Choosakul N, Pagamas P. 2017. The Influence of Color Shading Net on the Growing of Lettuce. *Applied Mechanics and Materials*. 866, 33–36.
- Daniels S, Martensen H, Schoeters A, Van den Berghe W, Papadimitriou E, Ziakopoulos A, Perez OM. 2019. A systematic cost-benefit analysis of 29 road safety measures. *Accident Analysis & Prevention*. 133: 105292.

- Espinoza-Torres L, Ramírez-Abarca O. 2016. Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescebc R Y P*) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 2
- Fu W, Li, Y Wu. 2012. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Sci. Hortic.* 135: 45-51.
- Gaurav, Abhay, Raju D, Janakiram T, Singh, Bhupinder, Jain, Ritu, Krishnan S. 2016. Effect of different coloured shade nets on production and quality of cordyline. *Indian Journal of Agricultural Sciences.* 86. 865-9.
- Gheewala S, Silalertruksa T, Nilsalab P, Lecksiwilai N, Sawaengsak W, Mungkung R, Ganasut J. (2017). Water stress index and its implication for agricultural land-use policy in Thailand. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(4), 833–846.
- Huong N, Huu Cuong T, Thi Nang Thu T, Lebailly P. 2018. Efficiency of Different Integrated Agriculture Aquaculture Systems in the Red River Delta of Vietnam. *Sustainability.* 10: 493.
- Jin N, Ren W, Tao B, He L, Ren Q, Li S, Yu Q. 2018. Effects of water stress on water use efficiency of irrigated and rainfed wheat in the Loess Plateau, China. *Sci. Total Environ.* 642, 1–11.
- Kazem Attar H, Noory H, Ebrahimian H, Liaghat M. (2020). Efficiency and productivity of irrigation water based on water balance considering quality of return flows. *Agricultural Water Management*, 231, 106025.
- Kim M, Moon Y, Tou J., Mou B, Waterland N. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa L.*). *Journal of Food Composition and Analysis.* 49: 19–34.

- Kousky Carolyn, Ritchie Liesel, Tierney Kathleen, Lingle Brett. 2019. Return on investment analysis and its applicability to community disaster preparedness activities. Calculating costs and returns. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41,101296.
- Li M, Xu Y, Fu Q, Singh V P, Liu D, Li T. 2020. Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 124888
- Mandal S, Vema K, Kurian C, Sudheer P. 2020. Improving the crop productivity in rainfed areas with water harvesting structures and deficit irrigation strategies. *Journal of Hydrology*, 124818.
- Mellichamp Duncan. 2017. *Internal Rate of Return: Good and Bad Features, and a New Way of Interpreting the Historic Measure. Computers & Chemical Engineering*, S0098-1354 (17) 30251-X.
- Mirzoyan N, Avetisyan N, Mnatsakanyan H, Tadevosyan L. 2018. Groundwater use and efficiency in small and medium-sized aquaculture farms in Ararat Valley, Armenia. *Groundwater for Sustainable Development*. 6: 1–5.
- Mudau A, Soundy P, Mudau F. 2017. Response of Baby Spinach (*Spinacia oleracea* L.) to Photosensitive Nettings on Growth and Postharvest Quality . *HortScience*. 52(5), 719–724.
- Nozzi V, Graber A, Schmautz Z, Mathis A, Junge R. 2018. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. *Agronomy*. 8: 27.
- Ofileanu D, Bumbescu S. 2014. The Analysis of the Factors Which Influence the Change of the Breakeven Point. *Procedia Economics and Finance*. 16: 356–367.

- Pickens J. M. 2015. Integrating effluent from recirculating aquaculture systems with greenhouse cucumber and tomato production. Doctoral dissertation, Auburn University. URI: <http://hdl.handle.net/10415/4782>
- Rakocy J, Masser M, Losordo T. 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. Southern Regional Aquaculture Center. USDA 454: 1-16.
- Rakocy J. E. 2012. Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. Aquaculture Production Systems. 344–386.
- Ramli I. Iskandar D. 2014. Control Authority, Business Strategy, and the Characteristics of Management Accounting Information Systems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 164: 384–390.
- Reyes-Flores M, Sandoval-Villa M, Rodríguez-Mendoza N, Trejo-Télez L, Sánchez-Escudero J, Reta-Mendiola J. 2016. Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para producción de *Solanum lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 17, pp. 3529- 3542
- Ríos-Flores J, Torres-Moreno M, Ruiz-Torres J, Torres-Moreno M. 2016. Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. *Acta Universitaria*, 26(1), 20-29
- Roosta H.R, Hamidpour M. 2011. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Sci. Hortic*. 129, 396–402
- Roosta H.R, Mohsenian Y. 2012. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae*. 146: 182-191.

- Ryan P.A, Ryan G.P. 2002. Capital budgeting practices of fortune 1000: How have things changed? *Journal of Business and Management*. 8:(4) 355-364.
- Smilovic M, Gleeson T, Adamowski J, Langhorn C. 2018. More food with less water – Optimizing agricultural water use. *Advances in Water Resources*. 123: 256-261
- Smith M. T, Schroenn Goebel J, Blignaut J. N. 2014. The financial and economic feasibility of rural household biodigesters for poor communities in South Africa. *Waste Management*. 34: 352–362.
- Steiner A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134-154
- Stewart J, Allison N, Johnson S. 2001. Putting a price on biotechnology. *Nature Biotechnology*. 19(9), 813–817
- Velasco-Muñoz J, Aznar-Sánchez J, Belmonte-Ureña L, Román-Sánchez I. 2018. Sustainable Water Use in Agriculture: A Review of Worldwide Research. *Sustainability*, 10(4), 1084.
- Wada Y, Wisser D, Bierkens M. 2014. Global modeling of withdrawal, allocation and consumptive use of surface water and groundwater resources. *Earth System Dynamics*. 5: 15–40.
- Xiao Z, Lester G, Luo Y, Wang Q. 2012. Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 7644–7651.
- Yagi M, Kokubu K. 2018. Corporate material flow management in Thailand: The way to material flow cost accounting. *Journal of Cleaner Production*. 198: 763–775.

- Yang T, Kim H. J. 2019. Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae*. 256, 108619.
- Yep B, Zheng Y. 2019. Aquaponic trends and challenges – A review. *Journal of Cleaner Production*. 228:1586-1599
- Zhao X, Yao G, Tyner W. E. 2016. Quantifying breakeven price distributions in stochastic techno-economic analysis. *Applied Energy*. 183: 318–326.
- Zheng H, Bian Q, Yin Y, Ying H, Yang Q, Cui Z. 2018. Closing water productivity gaps to achieve food and water security for a global maize supply. *Scientific Reports*. 8: 14762

SEGUNDO ARTÍCULO

**EL POTASIO COMO INDUCTOR DE LA CALIDAD COMERCIAL Y
NUTRACÉUTICA EN LECHUGA (*LACTUCA SATIVA*) PRODUCIDA EN
ESTANQUES PISCÍCOLAS**

**El potasio como inductor de la calidad comercial y nutraceutica en lechuga
(*Lactuca sativa*) producida en estanques piscícolas**

Potassium as an inducer of commercial and nutraceutical quality in lettuce (*Lactuca sativa*) produced in fish tanks.

(Calidad Nutraceutica en Acuaponia)

Mario Francisco García-Zertuche¹, Adalberto Benavides-Mendoza², Armando Robledo-Olivo², Valentín Robledo-Torres², Hortensia Ortega-Ortiz³, Marcelino Cabrera-De la Fuente^{2*} ¹Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro #1923 Buenavista, CP 25315 Saltillo Coahuila, México. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro #1923 Buenavista, CP25315 Saltillo Coahuila, México. ³Centro de Investigación en Química Aplicada, Enrique Reyna H. #140, San José de los Cerritos, CP25294 Saltillo, Coahuila

RESUMEN

Se estudió el efecto de diferentes mejoradores de calidad en base a potasio aplicados foliarmente a lechuga cultivada en un sistema acuapónico con la finalidad de determinar cómo las plantas asimilaban el potasio en las diferentes presentaciones aplicadas en condiciones de raíz flotante, ya que generalmente las modificaciones en el ambiente generan estrés oxidativo a través de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Es esencial conocer los mecanismos antioxidantes de defensa derivados de los diferentes mejoradores de calidad según las indicaciones planteadas por las casas comerciales ya que este macroelemento (potasio) está directamente relacionado con la morfología y la calidad nutraceutica de los cultivos. En este experimento, el tratamiento testigo mostró mayor producción de proteínas en las lechugas, y el Amifol-K el que aumentó su producción de Glutation reducido, para la Catalasa, el fosfato de potasio favoreció su actividad, en tanto que el tratamiento con Final-k aumento la actividad del Ascorbato Peroxidasa.

Palabras Clave: acuaponia, potasio, calidad nutraceutica, ERO

Abstract

The effect of different potassium-based quality improvers applied foliar to lettuce grown in an aquaponic system was studied to determine how the plants assimilated potassium in its different presentations applied under floating root conditions, generally the modifications in the environment generate oxidative stress through the formation of reactive oxygen species (ROS). That why It's essential to know about the antioxidant defense mechanisms derived from the different quality improvers according to the indications given by commercial houses since this macroelement (potassium) is related to the morphology and nutraceutical quality of the crops. In this experiment, the control treatment showed higher protein production in lettuce, the Amifol-K increased its production of reduced Glutathione, potassium phosphate had better respond for the Catalase and the treatment with Final-k increased Ascorbate Peroxidase.

Key Words: Aquaponics, Potassium, nutraceutical quality, oxidative stress

INTRODUCCIÓN

Los cultivos más comunes en los sistemas acuapónicos son las hortalizas de hojas que reportan mayores ganancias por su alto valor de mercado y ciclos cortos de producción (Rakocy, 2012; Yep *et al.*, 2019), por ejemplo lechugas, espinacas y albahaca, muestran bajos requerimientos nutrimentales y pueden establecerse en sistemas acuapónicos sencillos (Gómez *et al.*, 2015; Rodríguez, 2015), König (2018) menciona que la acuaponia es uno de los sistemas agrícolas más sustentables por el hecho de que logran incrementar la productividad del agua aumentando la producción de alimentos.

Sin embargo los nutrientes del cuerpo de agua no satisfacen las necesidades nutricionales de las plantas al 100% (Nozzi, 2018); otros autores como Rakocy (2012) y Yep *et al.*, (2019) mencionan que generalmente los niveles de nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}) y sulfatos (SO_4^{2-}) en sistemas acuapónicos son suficientes para el crecimiento de las plantas pero los niveles de potasio (K^+), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) no lo son,

por lo que se requiere una nutrición suplementaria de estos elementos para el crecimiento óptimo de las plantas.

Siendo el ión potasio (K^+) de mayor abundancia en las células vegetales y esencial para el crecimiento de las plantas (Ahmad y Maathuis, 2014) participando al mismo tiempo en procesos metabólicos y procesos biológicos como la presión de turgencia, homeostasis iónica, actividades enzimáticas, intercambio gaseoso, transpiración, fotosíntesis, crecimiento celular entre otras (Shin, R. 2017; Grzebisz *et al.*, 2013; Dreyer, 2014); además es esencial investigar cómo las plantas asimilan la absorción del K^+ en sus diferentes presentaciones en un sistema acuapónico ya que generalmente las modificaciones en el ambiente generan estrés oxidativo en las plantas a través de la oxidación de los compuestos celulares en sus diferentes organelos, lo que inactiva distintas funciones de la célula generando daño celular, esto a través de la generación de especies reactivas de oxígeno (RSO) (Chen *et al.*, 2012).

Las plantas continuamente producen RSO en sus diferentes organelos celulares, y estos son removidos por un complejo sistema antioxidante, en el que participan enzimas, proteínas y otros metabolitos que permiten mantener la homeostasis celular (Benezar, 2008). El control de los antioxidantes se logra a través de la inducción de los mecanismos antioxidantes de defensa que se componen de metabolitos como el ascorbato (ASC), el glutatión (GSH), el tocoferol, diversos metabolitos secundarios y los limpiadores enzimáticos de las RSO como las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y peroxidasas (POD) (Benezar, 2008). Estos compuestos antioxidantes son reconocidos por sus efectos benéficos en la salud de los consumidores (Pérez, 2017). Siendo los sistemas acuapónicos, una actividad sustentable por su doble propósito, al aumentar y diversificar la producción de alimentos mejorando la productividad del agua (Bosma *et al.*, 2017, Mirzoyan *et al.*, 2018), por lo que es importante conocer los mecanismos antioxidantes de defensa que ocurren en los sistemas acuapónicos al igual que los derivados de los diferentes mejoradores de calidad en los cultivos acuapónicos.

Materiales y métodos

Este experimento se estableció en un predio denominado Rancho La Joya ubicado a $25^{\circ}14'52.1''\text{N}$ $101^{\circ}16'00.5''\text{W}$ aproximadamente a 35 kilómetros de la cabecera Municipal de Saltillo, Coahuila, México, propiedad de un productor cooperante.

El predio cuenta con un sistema de engorda acuícola, que lo constituyen 12 estanques circulares de geomembrana de polietileno de alta densidad, con un esqueleto de soporte metálico, cada uno de ellos con 10 metros de diámetro y 1.20 metros de altura, por lo que se tiene un volumen de agua de 94.248 mil litros por estanque en su capacidad máxima.

Dentro de los estanques se encuentran sembrados 2,200 alevines de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Esta engorda tarda en promedio 10 meses en desarrollar las truchas un tamaño comercial de 0.50 kilogramos en peso.

Material vegetal

Se utilizó Lechuga (*Lactuca sativa*) variedad CLIMAX, de la casa comercial Western Seeds, dicho material es una lechuga tipo romana de hoja suelta formando un cogollo. Esta lechuga se caracteriza por presentar cabezas bien formadas con hojas grandes y envolventes, es tolerante al frío (Pink, 1993), con un tiempo de siembra a cosecha aproximado de 90 a 95 días.

La semilla se sembró en el mes de enero del 2019, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en un invernadero de mediana tecnología en el Departamento de Horticultura, en charolas de polietileno de 200 cavidades, utilizando como sustrato Peat moss y perlita en una relación de 70:30 respectivamente, una vez obtenidas las plántulas con tres hojas verdaderas y una altura de 12 cm (30 días posteriores a la emergencia), se extrajeron de la charola con todo y cepellón, para posteriormente realizar un lavado de raíces a fin de eliminar el sustrato.

Las plantas se trasplantaron a los 30 días de haber emergido, colocándolas en placas de unícel de 10 cm de espesor y una densidad de población de 21 plantas por metro cuadrado, a un tanque de geomembrana de alta densidad en condiciones de malla sombra al 70% de luminosidad donde se estableció el sistema acuapónico de raíz flotante.

Tratamientos

La fertilización fue suplementada con seis fuentes a base de potasio como tratamientos y un testigo absoluto, las aplicaciones se hicieron vía foliar desde el momento del trasplante por intervalos de 3 días, la nutrición utilizada fue la fórmula Steiner (1961), reducida en un 75% y esta misma al 25%, 50%, 75% y 100% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados con diferentes mejoradores de calidad a base de potasio.

Tratamientos	Nombre	Composición	Dosis	% masa molecular
1	Testigo (T ₀)	H ₂ O	1 L	0.0
2	Fainal-K [®]	K ₂ O + N	2.5 mL	31.0 – 3.0
3	Amifol-K [®]	K ₂ O	2.5 mL	31.0
4	Fosfato de Potasio	KH ₂ PO ₄	1.25 g	28.7
5	Nitrato de Potasio	KNO ₃	2.5 g	38.6
6	Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	3.5 g	44.8
7	Cloruro de Potasio	KCl	1 g	52.4

Diseño Experimental

Los tratamientos fueron evaluados bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar con 9 repeticiones por tratamiento, donde se tenían 3 repeticiones por tratamiento en 3 diferentes bloques.

Determinación de Enzimas

Extracto Enzimático (EE). Se colocaron 200 mg de tejido vegetal previamente liofilizado y macerado en mortero de mano, se adicionaron 20 mg de polivinil pirrolidona y 1.5 mL de buffer de fosfatos pH 7-7.2 (0.1 M), se sónico por 5 minutos, y a continuación se centrifugó a 12 000 rpm por 10 minutos a 4°C en una microcentrífuga. El sobrenadante fue recolectado y filtrado con filtros para jeringa de membrana de PVDF de 0.45 micras de poro. Finalmente se diluyó a una proporción 1:20 con buffer de fosfatos. Con este extracto enzimático se determinaron: catalasa, superóxido dismutasa, fenilalanina amonio liasa, glutatión peroxidasa, ascorbato peroxidasa, proteínas y glutatión reducido.

Catalasa (CAT). La actividad enzimática de catalasa se cuantificó midiendo 2 tiempos de reacción, tiempo 0 (T₀) y tiempo 1 (T₁) por el método espectrofotométrico (Cansev *et al.*, 2011). El blanco de calibración: 0.1 mL del EE, 1 mL de buffer de fosfatos pH 7.2 y 0.4 mL de H₂SO₄ al 5 %.

Para el T₀ se mezcló 0.1 mL de EE, 1 mL de H₂O₂ 100 mM e inmediatamente 0.4 mL de H₂SO₄ al 5 %. En el T₁ se mezcló 0.1 mL de EE y 1 mL de H₂O₂ 100 mM, después de un minuto de reacción se agregaron 0.4 mL de H₂SO₄ al 5 %. La reacción se realizó a 20 °C bajo agitación constante, el consumo de H₂O₂ se leyó a 270 nm en el espectro de UV-VIS, usando una celdilla de cuarzo. La diferencia de las absorbancias obtenidas fue interpolada en la ecuación de la curva de calibración realizada con H₂O₂, los estándares se encontraban en un rango de 20 a 200 mM. El resultado obtenido se sustituyó en la siguiente fórmula para reportarlo como actividad específica.

$CAT (UI\text{mg}) = ((UI \text{ mL de cada muestra}) \times 1.5 \text{ mL } 0.1 \text{ mL}) \times FD \text{ Concentración de proteínas (mg mL}^{-1}\text{)}$

Donde:

FD = Factor de dilución. UI = Actividad enzimática (1 μmol de sustrato convertido x min^{-1}).

Ascorbato Peroxidasa (APX): La medición se realizó en dos tiempos T0 (Tiempo inicial) y T1 (Tiempo un minuto de reacción) de acuerdo a Asada (2006). Para el T0 se colocó en tubo de 2 mL 0.1 mL de EE, 0.5 mL de ascorbato a 40 ppm, 1 mL de H₂O₂ a 100 Mm e inmediatamente 0.4 mL de H₂SO₄ al 5 % para detener la reacción; en el tiempo T1 se realizó todo lo anterior con la diferencia de que los 0.4 mL de H₂SO₄ al 5 % se agregaron 1 minuto después de haber agregado el mL de H₂O₂. Se leyó la absorbancia a 266 nm con celdilla de cuarzo, las absorbancias fueron interpoladas en la ecuación de la curva de calibración realizada con ácido ascórbico con estándares a concentraciones de 0 a 1 ppm. Los valores obtenidos se sustituyen en la siguiente fórmula.

$APX (UI \text{ mg}) = ((UI\text{mL de cada muestra}) \times 2 \text{ mL } 0.1 \text{ mL}) \times FDC \text{ oncentración de proteínas (mgmL)}$

Donde:

FD= Factor de dilución, UI = Actividad enzimática (1 μmol de sustrato convertido x min^{-1}).

Antioxidantes no enzimáticos

Proteínas Totales. Se determinó bajo la metodología descrita por Bradford (1976), se agregó en una celdilla de microplaca 5 μL de EE y 250 μl de reactivo Bradford (para preparar este reactivo se disolvieron 100 mg de Azul Brillante de Coomassie G250

(C47H49N3NaO7S2) en 50 mL de etanol (98 %), posteriormente se agregaron 100 mL de H3PO4 (85 %), enseguida se aforó a 1 L con agua destilada, se filtró dos veces con papel filtro N° 11 y se guardó en un frasco ámbar a 4°C hasta su uso) se mezcló ligeramente, se incubo a temperatura ambiente durante 10 minutos. Se determinó la absorbancia en el Lector de microplacas (Modelo ELx808™) a 630 nm. Las absorbancias obtenidas fueron interpoladas en la ecuación de la curva de calibración realizada con Albúmina Sérica Bovina (ABS), con estándares de 10 a 1000 ppm de ABS.

Los datos se expresaron en mg g-1 con la siguiente formula:

$$Cx=Cs*FD*VM$$

Dónde:

Cx = Concentración en mg g-1; Cs = Concentración obtenida en la ecuación de la recta (ppm); FD = Factor de dilución; V = Volumen utilizado en la dilución de la muestra; M = Masa total utilizada en la extracción.

Glutación Reducido (GSH). Fue cuantificado según la metodología espectrofotométrica establecida por Xue *et al.*, (2001), mediante la reacción con DTNB (ácido 5,5'-ditio-bis (2-nitrobenzoico)). En un tubo de ensayo se colocaron 0.48 mL de EE, se mezcló con 2.2 mL de fosfato dibásico de sodio (Na₂HPO₄) a 0.32 M y 0.32 mL del colorante DTNB al 1 mM. Se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS a 412 nm con una celdilla de cuarzo, y estas fueron interpoladas en la ecuación de la curva de calibración realizada con GSH, esta curva se realizó con estándares a una concentración de 0.02 a 1 mM. Los valores obtenidos se reportan en mM de GSH/ mL /min

Capacidad antioxidante. Se determinó capacidad antioxidante por DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) y ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico). Para hacer la determinación por DPPH se utilizó la metodología utilizada por Gill (2010), se

colocaron en un pocillo de microplaca 6 μL de EE y 234 μL de DPPH ($\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_5\text{O}_6$) a 0.1 mM, se agito cuidadosamente y en oscuridad se incubó por 30 minutos, enseguida se determinó la absorbancia del lector de Microplacas (Modelo ELx808™) a 540 nm. Se colocaron 240 μL de buffer de fosfatos sobre el pocillo para usarlo como blanco.

ABTS: se realizó por el método espectrofotométrico, estos métodos se basan en la decoloración del catión radical ABTS, el cual se obtuvo mezclando en partes iguales ABTS a 7 mM y persulfato potásico ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) a 2.45 mM, la mezcla se dejó reposar en oscuridad, a temperatura ambiente (25 °C) durante 16 horas antes de ser utilizada. En un tubo de 2 mL se agregaron 20 μL de EE, 980 μL del radical ABTS (con absorbancia de 0.7 ± 0.01 a 754 nm, se realizaron diluciones con etanol al 20% para ajustar la absorbancia), se agitó en Vortex durante 5 segundos y se dejó reposar durante 7 min en oscuridad. Se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS a 754 nm con una celdilla de cuarzo, como blanco se usó buffer de fosfatos pH 7. Las absorbancias fueron interpoladas en las ecuaciones obtenidas de las curvas de calibración realizada con TROLOX (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) ($\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$) y ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) con estándares a una concentración de 0.1 a 5 mM y 0.01 a 0.5 mg mL^{-1} respectivamente, ambos reactivos se diluyeron en buffer de fosfatos pH 7.

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de medias Fisher Least Significant Difference test (LSD, $p \leq 0.05$) con el software InfoStat/L (versión 2017).

Resultados y Discusión

En el **Cuadro 2**, se puede observar los resultados relacionados con la calidad nutracéutica de las lechugas acuapónicas mediante el análisis de las enzimas presentes que en seguida se analizan más adelante.

Cuadro 2. Determinación de la calidad nutracéutica en lechugas acuaponicas mediante el análisis de enzimas presentes.

Tratamientos	Proteínas (mg g ⁻¹)	CAT (mM H ₂ O ₂ /min)	APX (mg g ⁻¹)	GSH (g/Kg DE PS)	AOXT (mg ET/100g)
	<0.0001	0.0877	<0.0001	0.0010	0.0353
Testigo 1 L	50.68 a	0.03 b	4.6e-04c	0.03 bc	275.67 ab
Fainal-K [®] 2.5 mL	11.05 d	0.05 b	0.02 a	0.02 d	256.62 b
Amifol-K [®] 2.5 mL	30.93 b	0.04 b	4.2e-04c	0.05 a	306.33 a
K ₂ SO ₄ 3.5 g	19.55 c	0.04 b	1.6e-03c	0.04 b	265.66 b
K ₃ PO ₄ 1.25 g	13.93 cd	0.15 a	0.01 b	0.04 bc	249.52 b
KNO ₃ 2.5 g	17.49 cd	0.09ab	0.01 bc	0.03 bcd	249.20 b
KCl 1 g	21.49 c	0.05 b	2.7e-0bc	0.03 cd	250.81 b
DMSH	8.339	0.086	0.005	0.008	35.350
CV	20.19	74.93	56.30	15.09	7.62

Valores con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales, DMSH= diferencia mínima significativa honesta (Fisher, 0.05) CV=coeficiente de variación, NS= no significativo ($p>0.05$), *=significativo ($p\leq 0.05$), **= muy significativo (≥ 0.01), ***=

altamente significativo (≥ 0.001). CAT: Catalasa. APX: Ascorbato peroxidasa. GSH: Glutación. AOXT: Antioxidantes Totales $\mu\text{M/g}$ Trolox) dpph.

Proteínas

El tratamiento testigo en lechuga acuapónica en condiciones de raíz flotante mostro mayor diferenciación entre los demás tratamientos para la variable proteína, esto teniendo en cuenta que la principal fuente de nitrógeno (N) en los sistemas acuapónicos es el amonio (NH_4^+) (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Marino *et al.*, (2016) menciona en su investigación que la nutrición con NH_4 en *Arabidopsis thaliana* y Brócoli (*Brassica oleracea*) aumentó el contenido de glucosinolatos y la activación de las enzimas mirosinasas, esenciales como mecanismos de defensa al ser consumida la planta por insectos. Ballesteros *et al.*, (2016) en su investigación obtuvo un incremento en el nivel de reserva de proteínas con una nutrición NH_4 en granos de triticale (xTriticosecale Wittmack) al igual que Fuertes *et al.*, (2013) menciona que en trigo obtuvo incrementos en proteína.

Catalasa

La aplicación de fosfato de potasio en forma suplementaria en 3.5gL^{-1} indujo un incremento en la actividad de la enzima catalasa en lechuga bajo condiciones de raíz flotante en acuaponia. Ávila (2013) menciona que en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) con una nutrición suplementaria de fosforo, la estimulación del metabolismo secundario por fosfito puede potencialmente aumentar las actividades de enzimas antioxidantes como la catalasa, Roveda (2019) menciona en su investigación donde evaluaron diferentes dosis de fósforo en el suelo en grosella espinosa (*Physalis peruviana L.*) y concluyen que las deficiencias de fosforo incrementan los niveles de catalasa. Barroti (2003) menciona que la actividad enzimática se puede ver afectada por las fuentes de fósforo, debido a que el fosforo forma parte de los compuestos llamados organofosforados.

Ascorbato Peroxidasa

Para el cultivo de lechuga acuapónica en condiciones de raíz flotante, el tratamiento FinalK (K₂O)+(N) 31.0% - 3% mostro un mayor incremento en APX que el resto de los tratamientos, siendo el APX una enzima antioxidante importante para la síntesis de Ascorbato (AsA) y la eliminación del exceso de peróxido de hidrógeno H₂O₂ (Liu *et al.*, 2019).

GSH

El tratamiento donde se aplicó Amifol-K (fertilizante orgánico con aminoácidos libres 5.12% p/p) se obtuvo mayor concentración de GSH en comparación al testigo absoluto y al resto de los tratamientos que no incluían aminoácidos, teniendo en cuenta que el glutatión (L-g-glutamil-L-cisteinil-glicina) es un tripéptido hidrosoluble formado por los aminoácidos ácido glutámico, glicina y cisteína (Glu-Gly-Cys) (Denzoin *et al.*, 2013), Sharma (2006) menciona que la aplicación de aminoácidos libres genera acumulación del GSH y esta se debe considerar como una respuesta activa y no como una consecuencia a la desregulación metabólica. El glutatión se biosintetiza en las células a partir de los aminoácidos disponibles (Aaseth, 2016).

Antioxidantes totales (AOXT)

La capacidad antioxidante total determinada por el método DPPH en lechugas acuaponicas en condiciones de raíz flotante fue de 306.33 mg ET/100g y 275.67 mg ET/100 g para los tratamientos Amifol-k y el testigo respectivamente que obtuvieron mayores diferencias significativas en comparación al resto de los tratamientos, esto es mayor a lo reportado por Alcarraz *et al.*, (2018) y Llorach *et al.*, (2008) que fue 157 mg ET/100 g y 244.1 mg ET/100 g respectivamente en el cultivo de lechuga cv. continental, sin embargo, estos resultados son menores a los reportados por Llorach *et al.*, (2008) con lechugas color rojo (hoja de roble) con 600 mg ET/100mg.

Conclusiones

El sistema de producción lechuga acuapónica en condiciones de raíz flotante con diferentes mejoradores de calidad a base de sales de potasio aplicados foliarmente modifican la calidad nutracéutica de la lechuga acuapónica, el tratamiento testigo mostró mayor producción de proteínas el Amifol-K aumento la producción de Glutation reducido, el fosfato de potasio modifíco la Catalasa y el tratamiento con Final-k aumento el Ascorbato Peroxidasa.

Referencia Bibliográfica

- Aaseth, Jan, Gerhardsson, Lars., Skaug, Marit., Alexander, Jan. (2016). General Chemistry of Metal Toxicity and Basis for Metal Complexation. In: Chelation Therapy in the Treatment of Metal Intoxication, 1–33.
- Ahmad, Izhar., Maathuis, Frans. J. M. (2014). Cellular and tissue distribution of potassium, Physiological relevance, mechanisms and regulation. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 708–714.
- Alcarraz, Q, Edgar., Tapia, Maria Luisa., Bustamante, Andrés., Tapia, Olivia., Wacyk, Jurij., Escalona, Hugo. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa L.*) cultivadas en los sistemas acuaponicos e hidroponcos. *Anales Científicos*, 79(1): 101-110.
- Asada K. (2006). Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant Physiology*, 141: 391–396.
- Ávila, Fabricio., Faquin, Valdemar., Klynger, Allan., Lobato, Silva., Ávila, Patrícia., Marques, Douglas., Maria, Elaine., Guedes, Silva., Kean, Daniel, Tan, Yuen. (2013). Effect of phosphite supply in nutrient solution on yield, phosphorus nutrition and enzymatic behavior in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) plants. *Australian Journal of Crop Science* 8, 67-74.
- Ballesteros Rodríguez, Elia; Vaca García, Víctor Manuel; Morales Rosales, Edgar Jesús; Franco Mora, Omar; Zamudio González, Benjamín; Gutiérrez Rodríguez, Francisco. (2016) Fraccionamiento de nitrógeno: eficiencia de recuperación y concentración proteica en triticale (xTriticosecale Wittmack) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 7, núm. 3, pp. 585-598

- Barroti, Giovane., Nahas, Ely. (2003). Fósforo y el encalado sobre las fosfatasas y la producción de *Braquiaria ruziziensis* y *Cajanus cajan*. *Agronomía Tropical*, 53(2), 209-225.
- Benezer, Micaela., Castro, Elda., García, Ernesto. (2008). La Producción de Especies Reactivas de Oxígeno Durante la Expresión de la Resistencia a Enfermedades en Plantas. *Revista mexicana de fitopatología*, 26(1), 56-61.
- Bosma, Roel., Lacambra, Lysette., Landstra, Ynze., Perini, Chiara., Poulie, Joline., Schwaner, Marie., Yin, Yi. (2017). The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering*, 78, 146–154.
- Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248–254.
- Cansev A., Gulen H., Eris A. (2011): The activities of catalase and ascorbate peroxidase in olive (*Olea europaea* L. cv. Gemlik) under low temperature stress. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52: 113–120.
- Chen, J., Xu, W., Velten, J., Xin, Z., & Stout, J. (2012). Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(5), 354–364.
- Denzoin, Vulcano., Laura, Andrea., Soraci, Alejandro Luis., Tapia, Maria Ofelia. (2013). Homeostasis del glutatión. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, vol. 47, núm. 3, 2013, pp. 529-539.
- Dreyer, I. (2014). Potassium (K⁺) in plants. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 655.

- Fuertes, T., González, J., Arregui LM., González, C., González, MB., Estavillo JM. (2013). Ammonium as sole N source improves grain quality in wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93, 2162–2171.
- Gill S.S., Tuteja N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48: 909–930.
- Gómez M., Ortega L., Trejo T., Sánchez P., Salazar M., Salazar O. (2015). La acuaponía alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México. *Agroproductividad*.
- Grzebisz, W., Gransee, A., Szczepaniak, W., Diatta, J. (2013). The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3), 355–374.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Nahar, K., Hossain, M., Mahmud, J., Hossen, M., Fujita, M. (2018). *Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses*. *Agronomy*, 8(3), 31
- König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*, 180, 232–243.
- Liu, Jie-Xia., Feng, Kai., Duan, Ao-Qi., Li, Hui., Yang, Qing-Qing., Xu, Zhi-Sheng., Xiong, Ai-Sheng. (2019). Isolation, purification and characterization of an ascorbate peroxidase from celery and overexpression of the AgAPX1 gene enhanced ascorbate content and drought tolerance in Arabidopsis. *BMC Plant Biology*, 19(1), 488.

- Llorach, Rafael., Martínez, Ascensión., Tomás, Francisco A., Gil, María I., Ferreres, Federico. (2008). Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Analytical Methods*. 108(3), 1028–1038.
- Pérez, Sandra., Machín, Alianna., Sánchez, Esteban., Ardisana, Héctor., Santos, María. (2017). Actividad de enzimas del estrés oxidativo en plantas de tomate cv. Amalia en respuesta al plomo. *Horticultura Brasileira*, 35(2), 216-223.
- Marino, Daniel., Ariz, Idoia., Lasa, Berta., Santamaría, Enrique., Fernández, Joaquín., González, Carmen., Aparicio Tejo., Pedro M. (2016). Quantitative proteomics reveals the importance of nitrogen source to control glucosinolate metabolism in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica oleracea*. *Journal of Experimental Botany*, 67(11), 3313–3323.
- Mirzoyan, N., Avetisyan, N., Mnatsakanyan, H., Tadevosyan, L. (2018). Groundwater use and efficiency in small- and medium-sized aquaculture farms in Ararat Valley, Armenia. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 1–5.
- Nozzi, V., Graber, A., Schmautz, Z., Mathis, A., Junge, R. (2018). Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. *Agronomy*, 8(3), 27.
- Pink, D. A. & Keane, E. M. (1993). *Lettuce. Genetic Improvement of Vegetable Crops*, 543–571
- Rakocy, J. E. (2012). Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. *Aquaculture Production Systems*, 344–386.
- Rodríguez G., Rubio C., García U., Montoya M., Magallón B. (2015). Análisis técnico de la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponía. *Agroproductividad* 8(3): 15-19.

- Roveda, Gabriel, Moreno, Liz. (2019). Physiological and antioxidant responses of cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) seedlings to phosphorus deficiency. *Agronomía Colombiana*, 37(1), 3–11.
- Sharma, S. (2006). The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *Journal of Experimental Botany*, 57(4), 711–726.
- Shin, R. (2017). Potassium sensing, signaling, and transport: toward improved potassium use efficiency in plants. *Plant Macronutrient Use Efficiency*, 149–163.
- Steiner A, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134-154
- Xue T., Hartikainen H., Piironen V. (2001): Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237: 55–61.
- Yep, B., Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges – A review. *Journal of Cleaner Production*.

CONCLUSIONES GENERALES

El cultivo de lechuga acuapónica en condiciones de raíz flotante y malla sombra, mostró ser más eficiente en cuanto al desarrollo del cultivo presentando incrementos en el rendimiento agronómico.

El sistema lechuga raíz flotante en condiciones de malla sombra y fertilización foliar, mostró ser rentable a través de los diferentes indicadores económicos.

No se observó influencia de la interacción fertilización foliar y la malla sombra en las diferentes variables de rendimiento evaluadas, por lo anterior se puede lograr ser más rentable al bajar los costos variables de producción omitiendo el gasto por fertilización foliar, lo que muestra una eficiencia productiva en el uso del efluente acuícola como nutrición para el cultivo de lechuga. Es importante resaltar, que el sistema lechuga raíz flotante en condiciones de malla sombra presenta una factibilidad económica positiva con una vida útil de seis años, además la lechuga que proviene de sistemas en condiciones de agricultura protegida se caracteriza por tener un sobreprecio y es de mayor aceptación en el mercado.

El sistema de producción lechuga acuapónica en condiciones de raíz flotante con diferentes mejoradores de calidad a base de sales de potasio aplicados foliarmente modifica la calidad nutracéutica de la lechuga acuapónica, el tratamiento testigo mostró mayor producción de proteínas, el Amifol-K aumentó la producción de Glutatión reducido, el fosfato de potasio modificó la actividad de la Catalasa y el tratamiento con Final-k aumentó la actividad de la Ascorbato Peroxidasa.

REFERENCIAS

- Ahmad I, M. F. (2014). Cellular and tissue distribution of potassium, Physiological relevance, mechanisms and regulation. *Journal of Plant Physiology* , 171 (9), 708-714.
- Benezer M, C. E. (2008). La Producción de Especies Reactivas de Oxígeno Durante la Expresión de la Resistencia a Enfermedades en Plantas. *Revista mexicana de fitopatología* , 26(1), 56-61. .
- Bosma R, L. L. (2017). The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering* , 78, 146–154.
- Brauman, K. A. (2013). Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security—a global analysis. *Environmental Research Letters* , 8(2), 024030.
- Cabrera. (2014). Alternative Water Sources for Urban Landscape Irrigation in Arid Regions. *Journal of Arid Land Studies*. , 24-1: 89-92.
- Canales S, R. J. (2015). Criterios para la toma de decisión de inversiones. Departamento de Economía UNAM-Managua.. . *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas* , 3: 5 .
- Carranza C, L. O. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “Batavia” cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. . *Agronomía Colombiana*. , 27(1).
- Chen J, X. W. (2012). Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. *Journal of Soil and Water Conservation* , 67(5), 354–364.
- Daniels S, M. H. (2019). A systematic cost-benefit analysis of 29 road safety measures. *Accident Analysis & Prevention*. , 133: 105292. .

- Dreye I. (2014). Potassium (K⁺) in plants. *Journal of Plant Physiology* , 171(9), 655.
- Gheewala, S. H. (2017). Water stress index and its implication for agricultural land-use policy in Thailand. *Journal of Environmental Science and Technology* , 15(4), 833-846.
- Gómez M, O. L. (2015). La acuaponia alternativa sustentable y potencial para producción de de alimentos en México. *Productividad* .
- Grzebisz W, G. A. (2013). The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* , 176 (3) 355-374.
- Hormgren C, D. S. (2012). *Contabilidad de Costos Un enfoque gerencial*. Mexico: Pearson.
- Huang F, M. H., & Li, L. (2020). Agricultural water optimization coupling with a distributed ecohydrological model in a mountain-plain basin. *Journal of Hydrology* , 125336.
- Huong N, H. C. (2018). Efficiency of Different Integrated Agriculture Aquaculture Systems in the Red River Delta of Vietnam. *Sustainability* , 10, 493.
- Jin N, R. W. (2018). Effects of water stress on water use efficiency of irrigated and rainfed wheat in the Loess Plateau, China. *Sci. Total Environ.* , 642, 1–11.
- Jin N, R. W. (2018). Effects of water stress on water use efficiency of irrigated and rainfed wheat in the Loess Plateau. *Sci. Total Environ* , 642, 1-11.
- Kazem H, N. H. (2020). Efficiency and productivity of irrigation water based on water balance considering quality of return flows. *Agricultural Water Management* , 231, 106025.

- Kim M, M. Y. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). . *Journal of Food Composition and Analysis* , 49: , 19–34.
- König B, J. J. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production* , 180, 232–243. .
- Kousky C, R. L. (2019). Return on investment analysis and its applicability to community disaster preparedness activities. Calculating costs and returns. *International Journal of Disaster Risk Reduction* , 41,101296.
- Levers C, K. E. (2018). Archetypical patterns and trajectories of land systems in Europe Reg. *Environ. Chang* , 715-732.
- Li M, X. Y. (2020). Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology* , 124888.
- Mandal S, V. K. (2020). Improving the crop productivity in rainfed areas with water harvesting structures and deficit irrigation strategies. *Journal of Hydrology* , 124818.
- Mekonnen M, H. A. (2020). Water productivity benchmarks The case of maize and soybean in Nebraska. *Agricultural Water Management* , 234 pp: 106122.
- Mellichamp D. (2017). Internal Rate of Return: Good and Bad Features, and a New Way of Interpreting the Historic Measure. . *Computers & Chemical Engineering* , (17) 30251-X.
- Mirzoyan N., A. N. (2018). Groundwater use and efficiency in small- and medium-sized aquaculture farms in Ararat Valley, Armenia. . *Groundwater for Sustainable Development* , 6, 1–5. .

- Molden D, O. T. (2010). Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management* , 97(4), 528–535. .
- Narayanan K, A. A. (2020). Water Management for Sustainable Food Production. *Water* , 12, 778.
- Nozzi V, G. A. (2018). Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herd. *Agronomy* , 8 (3), 27.
- Ofileanu D, B. S. (2014). The Analysus of the Factors Which Influence the Change of Breakeven Point. *Procedia Economics and Finance* , 16: 356-367.
- Pérez S, M. A. (2017). Actividad de enzimas del estrés oxidativo en plantas de tomate cv. Amalia en respuesta al plomo. *Horticultura Brasileira* , 35(2), 216-223. .
- Rackocy J. (2012). Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. *Aquaculture Production Systems* , 344-386.
- Ramli I, I. D. (2014). Control Authority Bussiness Strategy and the Characteristics of Managemer Accounting Information Systems. *Provedia Social and Behaviosal Sciences* , 164: 384-390.
- Ríos J, T. M. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali. *Acta Universitaria* , 26(1), 20-29.
- Rodríguez G, R. C. (2015). Análisis técnico de la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca Sativa*) en dos sistemas de acuaponía. *Agroproductividad* , 8(3): 15-19.

- Sharma S, S. T. (2014). Sources of vegetables, fruits and vitamins A, C and E among five ethnic groups: Results from a multiethnic cohort study. *European Journal of Clinical Nutrition* , 68(3), 384–391.
- Shin R. (2017). Potassium sensing, signaling, and transport: toward improved potassium use efficiency in plants. *Plant Macronutrient use Efficiency* , 149-163.
- SIAP. (02 de 05 de 2018). Recuperado el 2018, de <https://www.gob.mx/siap/articulos/lactuca-sativa-l-tipos-y-variedades-que-se-producen-en-mexico?idiom=es>
- SIAP. (09 de 01 de 2017). <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Recuperado el 2018, de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Smilovic M, G. T. (2018). More food with less water – Optimizing agricultural water use. *Advances in Water Resources* . , 123: 256-261.
- Smith M, S. G. (2014). The financial and economic feasibility of rural household biodigesters for poor communities in South Africa. *Waste Management* , 34: 352-362.
- Stewart J, A. P. (2001.). Putting a price on biotechnology. *Nature Biotechnology* . , 19(9), 813–817.
- Torrado P, & S. (2020). Toma de decisiones y gestión productiva en el sector agropecuario del Noreste de La Pampa (Argentina). *Revista de Economía e Sociología Rural* , 58(2).
- Velasco J, A. J. (2018). Sustainable Water Use in Agriculture: A Review of . *Sustainability* , 10 (4), 1084.

- Wada Y, W. D. (2014). Global modeling of withdrawal, allocation and consumptive use of surface water and groundwater resources. *Earth System Dynamics* , 5, 15-40.
- Xiao Z, L. G. (2012). Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, , 60(31),: 7644–7651.
- Yagi M, K. K. (2018). Corporate material flow management in Thailand; the way to material flow cost accounting. *Journal of Cleaner Production* , 198: 763-775.
- Yanes A, M. P. (2020). Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems. *Cleaner Production* , 31618-8.
- Yang T, K. H. (2019). Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae*. , 256, 108619.
- Yep B, Z. Y. (2019). Aquaponic trends and challenges- A review. *Journal of Cleaner Production* .
- Zaccagni, M. A. (2018). Status of Water Resources and Human Health in the Middle East and North Africa Region: An Integrated Perspective. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* , 11006-1.
- Zao X, Y. G. (2016). Quantifying breakeven price distributions in stochastic techno-economic analysis . *Applied Energy* , 183: 318-326.
- Zheng H, B. Q. (2018). Closing water productivity gaps to achieve food and water security for a global maize supply. *Scientific Reports*. , 8: 14762.
- Zörb C, S. M. (2014). Potassium in agriculture- Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* , 171(9), 656-669.