

Efecto en el Desarrollo, crecimiento y calidad de la zarzamora cv Tupy en un Sistema Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería

Efecto en el desarrollo, crecimiento y calidad de la zarzamora cv.
Tupy en un Sistema
Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Doctor en Ingeniería de Biosistemas

Presenta

M. en C. Priscila Sarai Flores Aguilar

Querétaro, Querétaro; Julio 2024

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Doctorado en Ingeniería en Biosistemas



**EFFECTO EN EL DESARROLLO, CRECIMIENTO Y CALIDAD DE LA ZARZAMORA CV. TUPY
EN UN SISTEMA INTEGRADO AGRO-ACUÍCOLA SIMPLE Y SUPLEMENTADO**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Doctor en Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

M. en C. Priscila Sarai Flores Aguilar

Dirigido por:

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

SINODALES

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

Presidente

Firma

Dr. Humberto Aguirre Becerra

Secretario

Firma

Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón

Vocal

Firma

Dra. Betsie Martínez Cano

Suplente

Firma

Dra. Arantza Elena Sánchez Gutiérrez

Suplente

Firma

Directora de la Facultad

Director de Investigación y
Posgrado

RESUMEN

El aumento de la población mundial ha provocado una mayor demanda de alimentos, lo que ejerce presión sobre los recursos naturales como la tierra, el agua y los nutrientes. Los métodos actuales de producción de alimentos no son eficientes y están dañando el medio ambiente. Por lo tanto, es crucial promover métodos sostenibles para obtener alimentos seguros y nutritivos. Una de esas tendencias en la investigación es el uso de aguas residuales de la acuicultura como bioestimulante, que puede mejorar la resiliencia de los cultivos y mejorar la calidad nutricional de las frutas. Los Sistemas Integrados de Agroacuicultura (IAAS) combinan acuicultura y prácticas agrícolas, como la acuaponía (AQ), que integra un sistema de acuicultura de recirculación y una unidad hidropónica. La AQ se considera un método de producción de alimentos más sostenible en comparación con la acuicultura y la hidroponía tradicionales, lo que contribuye a la seguridad alimentaria. Inicialmente, el AQ se utilizaba para cultivar hortalizas con bajos requerimientos nutricionales. Sin embargo, desde 2015 se promueve el uso de aguas residuales de acuicultura suplementadas para cultivos con mayores necesidades nutricionales, como las berries, cuya introducción en la producción acuapónica hasta ahora no se había considerado. Estas aguas residuales contienen nutrientes esenciales y microorganismos beneficiosos, que pueden mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas y aumentar su contenido de compuestos bioactivos con propiedades anticancerígenas, antioxidantes y antimutagénicas mejorando así la calidad y el rendimiento de los cultivos en comparación con la hidroponía y el cultivo orgánico en suelo. Los bioestimulantes presentes en las aguas residuales de la acuicultura inducen respuestas fisiológicas que mejoran el rendimiento de los cultivos, demostrando ser una alternativa eficaz para la producción sostenible de alimentos. Este proyecto tiene como objetivo cultivar moras utilizando agua nutrida orgánicamente procedente de cultivos acuícolas para determinar el crecimiento, desarrollo y bioestimulación fisiológica de la zarzamora (*Rubus ulmifolius*) cv. Tupy cultivado en un Sistema Integrado de Agroacuicultura (SAAI) con tilapia (*Oreochromis niloticus*). Con esta información pretendemos predecir la calidad del fruto de la mora en función de su estado de inmunidad.

(Palabras clave: Sistemas Integrados de Agro-Acuicultura, Bioestimulación, Compuestos Bioactivos, Sistemas de Producción Sostenible de Alimentos)

SUMMARY

The increase in global population has caused an increase in demand for food, putting pressure on natural resources such as land, water and nutrients. Current food production methods are not efficient and are damaging the environment. Therefore, it is crucial to promote sustainable methods to obtain safe and nutritious food. One such trend in research is the use of aquaculture wastewater as a biostimulant, which can improve the resilience of crops and improve the nutritional quality of fruits. Integrated Agro-Aquaculture Systems (IAAS) combine aquaculture and agricultural practices, such as aquaponics (AQ), which integrates a recirculating aquaculture system and a hydroponic unit. AQ is considered a more sustainable food production method compared to traditional aquaculture and hydroponics, contributing to food security. Initially, AQ was used to grow vegetables with low nutritional requirements. However, since 2015, the use of supplemented aquaculture wastewater has been promoted for crops with greater nutritional needs, such as berries, whose introduction in aquaponic production had not been considered until now. This wastewater contains essential nutrients and beneficial microorganisms, which can improve the growth and development of plants and increase their content of bioactive compounds with anticancer, antioxidant and antimutagenic properties, thus improving the quality and yield of crops compared to conventional crops. hydroponic and organic in soil. Biostimulants present in aquaculture wastewater induce physiological responses that improve crop performance, proving to be an effective alternative for sustainable food production. This project aims to grow blackberries using organically nourished water from aquaculture cultures to determine the growth, development and physiological biostimulation of blackberry (*Rubus ulmifolius*) cv. Tupy grown in an Integrated Agro-Aquaculture System (SAAI) with tilapia (*Oreochromis niloticus*). With this information we hope to predict the quality of the blackberry fruit based on its immunity status.

(Key words: Integrated Agro-Aquaculture Systems, Biostimulation, Bioactive Compounds, Sustainable Food Production Systems)

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este trabajo a mi Dios y Padre, Jesucristo, a mi familia y hermanos en Cristo, cuyo apoyo incondicional, oraciones y constante ánimo han sido mi mayor pastoreo.

A mi esposo Edgar y mi hijo Lucas, por su cariño y comprensión; a mis padres Jesús y Luz María, por su amor, paciencia, apoyo y enseñanzas; y a la iglesia, cuya intercesión me trajo una abundante ministración del Espíritu Santo y fue mi salvación.
Este logro es tanto mío como suyo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no es individual; es la suma de colaboraciones multidisciplinarias, interdisciplinarias y transdisciplinarias, a las cuales extendiendo mi sincero agradecimiento:

A mi Director de Tesis, Genaro Soto, por su financiamiento, apoyo, consejos y retroalimentaciones oportunas, todos los cuales fueron fundamentales para la obtención de este título. Agradezco también a los miembros de mi sínodo, Humberto Aguirre, Guillermo Peña, Betsie Martínez y Arantza Sánchez, por sus revisiones y correcciones que ayudaron a mejorar mi trabajo. Asimismo, quiero expresar mi gratitud a mis compañeros de generación, en especial a Julieta Sánchez, Amanda Rico y Samantha Rivero quienes supieron cómo apoyarme para avanzar, y a mis profesores, siempre atentos y dispuestos a colaborar en mi desempeño.

De igual manera, agradezco a los directivos y administrativos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, en particular a Manuel Toledano y Luz Pérez, por sus atenciones durante todo el proceso de obtención de este título. A los coordinadores del doctorado, Ramón Guevara e Irineo Torres, por su apoyo durante todos estos años. Al Centro de Investigación Aplicada a Biosistemas (CIAB), a sus encargados, guardias y estudiantes de servicio social que prestaron sus servicios para los análisis de este proyecto.

A la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas (SLU) por permitirme participar como embajadora de posgrado de México, en representación de la Universidad Autónoma de Querétaro, para la Alianza Global de Universidades para el 2030 (GCUA2030), con lo cual se generaron productos de impacto social que beneficiaron a la comunidad local.

Y, por último, pero no menos importante, agradezco al CONAHCYT por la beca de manutención (CVU 632089) con número 2019-000037-02NACF-01190 otorgada en este programa, y a la Universidad Autónoma de Querétaro por la segunda beca como beneficiaria CONAHCYT para exención de pago de estudios doctorales.

INDICE

Contenido	Página
TESIS	2
RESUMEN	3
SUMMARY	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
INDICE	7
INDICE DE TABLAS	12
INDICE DE FIGURAS	12
CAPITULO I	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Búsqueda de patentes relacionadas con el uso de sistemas acuapónicos	18
1.3 Monitoreo tecnológico	19
1.4 Productos bioestimulantes comerciales	20
1.5 Justificación	21
1.6 Descripción del problema	22
1.7 Hipótesis	23
1.8 Objetivos	23
1.8.1 Objetivo General	23
1.8.2 Objetivos Particulares	23
CAPITULO II	25
2.1 Revisión de literatura	25
2.1.1 Agricultura	25
2.1.2 Acuicultura	25
2.1.3 Sistemas Integrados Agro-Acuícolas	26
2.1.3.1 Sistemas Acuapónicos Acoplados	29
2.1.3.2 Sistemas Acuapónicos Desacoplados	29
2.1.4 El Origen de los nutrientes en Sistemas Integrados Agro-Acuícolas	31
2.1.5 Nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas	31
2.1.5.1 Mecanismos de absorción de nutrientes en especies	

vegetales	32
2.1.5.2 Macronutrientes.....	33
2.1.5.3 Micronutrientes.....	35
2.1.6 Organismos utilizados en el Sistema Integrado Agr-Acuícola .	36
2.1.6.1 Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	36
2.1.6.2 Zarzamora (<i>Rubus ulmifolius</i> cv. Tupy)	37
2.1.7 Bioquímica y Bioestimulación.....	40
CAPÍTULO III.....	43
3.1 Metodología.....	43
3.1.1 Diseño experimental	43
A. Sitio Experimental	43
B. Condiciones climáticas	44
3.1.2 Material biológico	44
A. Tilapia.....	44
B. Zarzamora.....	46
3.1.3 Variables morfométricas de crecimiento y desarrollo de la zarzamora	48
A. Determinación de altura, diámetro basal y unidades SPAD de clorofila	48
B. Determinación de índice de vegetación diferenciado normalizado	49
C. Determinación de la respuesta fisiológica y la inducción de metabolitos especializados	49
D. Análisis estadísticos	52
CAPÍTULO IV	54
4.1 Resultados y Discusión	54
4.1.1 Acondicionamiento estanque de tilapia	54
4.1.2 Acondicionamiento esquejes zarzamora.....	55
4.1.3 Variables morfométricas de crecimiento	60
A. Altura, diámetro basal y unidades SPAD de clorofila.....	60
B. Índice de Vegetación Diferenciado Normalizado-NDVI.....	64
C. Respuesta fisiológica y la inducción de metabolitos especializados	66
CAPÍTULO V	79
5.1 Conclusiones	79
Bibliografía.....	81
Apéndice A: Análisis y fichas técnicas utilizadas para determinar el efecto	

en el desarrollo, crecimiento y calidad de la zarzamora cv. Tupy en un Sistema Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado.	89
A.1. Análisis previo de agua de pozo para realizar suplementación de fertilizantes para Tratamiento 2 (T2) y control positivo (CP) para el cultivo de la zarzamora.	90
A.2. Análisis foliar previo de la zarzamora.	91
A.3. Análisis del agua de estanque de peces para observar maduración.	92
A.4 Microclima del domo geodésico de las zarzamoras antes y después del tiempo de tratamiento de 216 horas. Los datos se exportaron de un GSP-6 temperature & humidity Data Logger, ELITECH, México.	93
A.5. Análisis previo sobre los valores en los compuestos orgánicos en el agua de los peces.	96
A.6. Análisis del agua de estanque de peces para realizar suplementación de fertilizantes para Tratamiento 2 (T2) y control positivo (C+) para el riego del cultivo de la zarzamora del Tiempo Cero al Tiempo 144h.	97
A.7. Ficha técnica enraizador.	98
A.8. Ficha técnica fertilizante.	101
A.9. Análisis pre-experimentación de 72h para conocer los valores en los compuestos orgánicos en el agua de los peces y tomar decisiones para comenzar Tiempo cero.	102
Apéndice B. Productos obtenidos durante el doctorado.	103
ARTÍCULOS.	103
B.1. Flores-Aguilar, P. S., & Soto-Zarazúa, G. M. (2024). El impacto positivo de los Sistemas Integrados Agro-acuícolas en el Objetivo para el Desarrollo Sostenible 6- Agua limpia y Saneamiento. <i>Perspectivas De La Ciencia Y La Tecnología</i> , 7(12), 8-25. https://doi.org/10.61820/pct.v7i12.1105 (Original work published 2024)	103
B.2. Flores-Aguilar, P.S.; Sánchez-Velázquez, J.; Aguirre-Becerra, H.; Peña-Herrejón, G.A.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M. Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level? <i>Sustainability</i> 2024, 16, 1130. https://doi.org/10.3390/su16031130	104
B.3. Flores-Aguilar, P.S.; Rico-Chávez, A.K.; Rodríguez-deLeón, E.; Aguirre-Becerra, H.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M. Bioactive Compounds of Endemic Medicinal Plants (<i>Cuphea</i> spp.) Cultured in Aquaponic Systems: A Short Study. <i>Agriculture</i> 2023, 13, 2018. https://doi.org/10.3390/agriculture13102018	105
B.4. Lopez-Tejeida, S.; Soto-Zarazua, G.M.; Toledano-Ayala, M.; Contreras-Medina, L.M.; Rivas-Araiza, E.A.; Flores-Aguilar, P.S. An Improved Method to Obtain Fish Weight Using Machine Learning and	

NIR Camera with Haar Cascade Classifier. Appl. Sci. 2023, 13, 69. https://doi.org/10.3390/app13010069	106
B.5. Humberto Aguirre-Becerra, Julieta Sánchez-Velázquez, Valeria Caltzonzin-Rabell, Diana Sáenz-de-la-O, Priscila S. Flores-Aguilar, Rosario Guzmán-Cruz, Luis M. Contreras-Medina, Juan F. García-Trejo, Ana A. Feregrino-Pérez, Chapter 8 - Applications of Verticillium spp. for inducing secondary metabolism in plants to cope with biotic and abiotic stress. In Nanobiotechnology for Plant Protection, Fungal Secondary Metabolites, Elsevier, 2024, Pages 155-172, ISBN 9780323952415, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95241-5.00026-5	107
B.6. Estrada, María de la Luz Sánchez, et al. "Tecnologías para optimizar el agua en la acuicultura." Revista electrónica de difusión científica, tecnológica y de innovación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro-Nthe. ISSN 2007-9079; cuatrimestral , enero – abril – 2023, num 41. https://www.researchgate.net/profile/Maria-De-La-Luz-Estrada/publication/370466719_Tecnologias_para_optimizar_el_agua_en_la_acuicultura/links/64515d094af78873525184d3/Tecnologias-para-optimizar-el-agua-en-la-acuicultura.pdf	109
B.7. Acuaponía: Una alternativa versátil e integral en la producción de alimentos para el entorno mexicano. (2021). Digital Ciencia@UAQRO, 14(1), 43-53. https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/101	110
PARTICIPACIONES NACIONALES.....	111
B.8. Acreedora de un financiamiento por parte del Fondo de Fomento a la Cultura Emprendedora.....	111
B.9. Participación en REPENTINA ARQUITECTURA 2024 con el tema “170 acciones diarias de los objetivos (ODS) aplicados a proyectos”	112
B.10. Conferencia en Línea dirigida a la comunidad escolar de la Escuela Secundaria General No. 2 Mariano Escobedo Clave: 22DES0008U con el tema “Sostenibilidad, definiciones y estrategias actuales”.....	113
B.11. Reconocimiento instructor en el Diplomado en Gestión de Proyectos y Empresas Agropecuarias	114
B.12. Ponencia titulada “Los Sistemas Integrados Agro-Acuícolas y su interrelación con la Economía más dulce—Dona Económica” en el evento “Cadenas de Valor sostenible” de la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN) iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas.....	115
B.13. Instructora por dos ocasiones consecutivas del Curso "Educación e Investigación para el Desarrollo Sostenible", correspondiente a los Rubros Didáctico Pedagógico y Actualización Disciplinar.....	116
B.14. Reconocimiento de participación en videoconferencia por parte	

de el Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable.....	117
B.15. Asistente y Presentador oral den el 13 Coloquio de Posgrado de la Facultad de Ingeniería 2019	118
B.16. Participación como ponente en El Primer Congreso Internacional Agroindustria, Sistemas Agropecuarios y Sustentabilidad con el tema “El impacto positivo de la acuaponía en el Objetivo para el Desarrollo Sostenible 6-Agua limpia y Saneamiento	119
PARTICIPACIONES INTERNACIONALES	120
B.17. Certificate Sustainability in a globalized world - tools and concepts 3hp; PhD basic courses in transferable skills Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala SWEDEN	120
B.18. International Liason Coordinator for the formal collaboration between UAQ and GCUA2030	121
B.19. International Liason Coordinator for the formal collaboration between Sistemas Embebidos y Aplicaciones and the Department of Forest Economics, SLU Global, SWEDEN.....	122
B.20. Certificate of participation during the final GCUA2030 /STINT meeting held at Haga Slott, Enköping, SWEDEN	123
B.21. International Liason Coordinator for the formal collaboration between Sistemas Embebidos y Aplicaciones and the Centre for Environmental and Resource Economics (CERE) –a joint venture between University of Umea and SLU-Umea—SWEDEN	124
B.22. Certificate of participation in the GCUA 2030 Mentorship Programme, by INDEA AB Consulting, Stockholm SWEDEN	125

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. <i>Requerimientos nutricionales recomendados de macro y micronutrientes para la etapa de floración. Extraído de Grupo INTAGRI, 2021</i>	40
Tabla 2. <i>Análisis que se realizaron para determinar el efecto en el desarrollo crecimiento y calidad del fruto de zarzamora (Rubus sp.) cv. Tupy en un Sistema Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado con tilapia (Oreochromis niloticus)</i>	48
Tabla 3. <i>Pérdida de agua y requerimientos hídricos estimados de la zarzamora cv Tupy según el tipo de nutrición en 72 horas</i>	57
Tabla 4. <i>Nutrición durante 216 horas, utilizando dos tratamientos T1 y T2 con Agua Orgánicamente Enriquecida (AOE) para tilapia, y dos controles, uno negativo (CN) y otro positivo (CP). T1 contiene solo el AOE previamente caracterizado, mientras que a T2 se le añadió la nutrición utilizada en CP. CN contiene únicamente agua de pozo previamente caracterizada más ácido sulfúrico para unificar el pH entre los tratamientos</i>	67
Tabla 5. <i>Posibles resultados sostenibles de la acuaponía como sistema integrado agro-acuícola y su evidencia mundial a lo largo del tiempo. Elaboración propia basada en (König et al., 2018)</i>	76

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. <i>Definiciones y dependencias. Extraído y modificado de Baganz et al., (2021)</i>	27
Figura 2. <i>Diseño tradicional del sistema acuapónico acoplado. a) Tanque del Sistema de Recirculación de Acuicultura (RAS); b) Decantador de lodos; c) Biofiltro con aireación; d) Diferentes unidades hidropónicas; e) sumidero y una bomba; * Las diferentes unidades hidropónicas dependen de la especie de cultivo, espacio y presupuesto. Modificado de</i>	28
Figura 3. <i>Sistema acuapónico desacoplado de bucle múltiple (AQD). a) Sistema de Recirculación de Acuicultura (RAS); b) Decantador de lodos; c) Biofiltro con aireación; d) Cáster y bomba; e) La primera etapa del reactor anaeróbico con producción de biogás principalmente; f) Segunda etapa del reactor anaeróbico con recuperación de fertilizantes para la unidad hidropónica; g) unidades hidropónicas; h) Tecnología de destilación térmica/desalación con recuperación de sales y nutrientes para cultivos y agua desmineralizada para RAS.; *En AQD se requiere más de una bomba para recirculación independiente, la cantidad dependerá del diseño. El color de las flechas indica la dirección del flujo del agua. Modificado de (Palm et al., 2019)</i>	30
Figura 4. <i>Sistemas protegidos tipo geodésico, los cuáles se encuentra en las instalaciones del campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, en</i>	

<i>la zona del semidesierto del Marqués. Figuras geodésicas obtenidas del sitio</i> https://acidome.com/lab	43
Figura 5. Conjunto de sensores integrados ISS modelo 6357 con consola manual Vantage VUE modelo 6351 (DAVIS Instruments CA, USA), las variables que se muestran son temperatura exterior (línea roja), temperatura interior (línea negra), porcentaje de humedad exterior (línea azul) y porcentaje de humedad (línea morada) del mes anterior al trasplante (febrero). A) datos representativos de siete días. B) datos representativos de tres días.....	45
Figura 6. Diagrama esquemático para determinar el efecto en el crecimiento, desarrollo y calidad del fruto de Zarzamora (<i>Rubus spp</i>) cv. Tupy cultivado en Sistema Integrado Agroacuícola (SAAI) con tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) y con dos tipos de aguas nutritiva i.e. T1 se refiere al tratamiento UNO que contiene solamente el agua de los peces y el T2 que además de contener el agua de los peces también incluye la nutrición recomendada para el crecimiento vegetativo de los berries; y dos controles i.e. C+ o control positivo el cual contiene la solución nutritiva estándar recomendada para producción de berries y C— o control negativo el cual no contiene nutrientes adicionales más que los inherentes al agua de la zona.	47
Figura 7. Domos geodésicos dentro de los cuales se realizó el experimento para la bioestimulación de zarzamora (<i>Rubus sp</i>) cv Tupy con agua residual acuícola de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) en la zona semi-desértica del Marqués, Amazcala. A) Vista exterior de los domos geodésicos: a la izquierda, el domo acuícola con plástico blanco; a la derecha, el domo con las zarzamosas cubierto con malla sombra. B) Vista interior del domo con el estanque de tilapias. C) Vista interior del domo de zarzamora.	54
Figura 8. Esquema para la obtención del balance hídrico y el comportamiento al riego previo a periodo de experimentación.....	56
Figura 9. Resultados cualitativos de las diferentes nutriciones en 72 horas de tratamiento.	56
Figura 10 Resultados de análisis previo del requerimiento hídrico y comportamiento a las diferentes nutriciones en el Tiempo cero, a las 48 horas y a las 72 horas.	57
Figura 11. Dinámica de la temperatura del agua en el estanque y porcentaje de humedad dentro de domo geodésico acuícola. El monitoreo se realizó con un GSP-6 temperature & humidity Data Logger, ELITECH, México.	58
Figura 12. Trasplante del nuevo lote de esquejes de zarzamora. La figura muestra el proceso para retirar el suelo (arcilla) en el que venían los esquejes por medio de remojar la planta en agua de pozo hasta dejar únicamente las raíces.....	60
Figura 13. Nuevo lote de zarzamora recién trasplantado en sus respectivas unidades experimentales. A) Prueba con cámara fotográfica digital PowerShot A480 modificada (CANON, México) para capturar las imágenes de las zarzamosas y determinar el índice de vegetación diferenciado normalizado. B) Determinación de la clorofila con el instrumento SPAD520 plus meter (KOSMOS, MTY, México). C) Determinación de peso, altura y ancho de las tilapias para ajustar la ración de alimento diario. D) Determinación tiempo cero de largo la rama y diámetro basal.	61
Figura 14. Microclima, temperatura y porcentaje de humedad, del periodo de experimentación dentro del domo geodésico de zarzamosas. (GSP-6 temperature & humidity Data Logger, ELITECH, México).....	62
Figura 15. Diferencias significativas en el contenido de clorofila (unidades SPAD) encontradas entre los tratamientos (A) antes del tiempo cero, (B) a las 72 hr, (C) a las 144 hr y (D) a las 216 horas del experimento. (Tukey $\alpha=0.01$ (***), $\alpha=0.05$ (**), y $\alpha=0.1$ (*)).	63
Figura 16. Diferencias significativas en el diámetro basal del tallo (A) antes del tiempo cero, y (B) a las 216 hr; y diferencias significativas en el largo de las ramas (C) antes del tiempo cero y (D) a las 216 horas del experimento. (Tukey $\alpha=0.01$ (***), $\alpha=0.05$ (**), y $\alpha=0.1$ (*)).	63
Figura 17. Ejemplo de imágenes tomadas con la cámara fotográfica digital PowerShot A480 modificada (CANON, México). El conjunto de las 8 imágenes superiores fue tomado en el tiempo cero (recuadro con líneas intermitentes) con fondo de plástico; el conjunto de las otras	

<i>8 imágenes fue tomado en el tiempo final (línea punteada) con fondo de tela mate.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 18 Índice de Vegetación Diferenciado Normalizado entre tratamientos A) al inicio y B) al final de las 216 horas. (Tukey $\alpha=0.01$(***), $\alpha=0.05$(**), y $\alpha=0.1$(*).....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 19 Actividad enzimática de A) la Catalasa (CAT), B) superóxido dismutasa (SOD), contenido de C) fenoles y D) flavonoides en las hojas entre los tratamientos y los diferentes tiempos de muestreo. (Tukey $\alpha=0.05$)</i>	<i>68</i>

CAPITULO I

1.1 Antecedentes

A medida que crece la población mundial, aumenta la demanda de alimentos y, por lo tanto, el uso de recursos como tierras de cultivo, agua y nutrientes en forma de fertilizantes se acerca a los límites de las tasas de regeneración global (Rockström et al., 2021). Las técnicas actuales para la producción de los alimentos requeridos aún son ineficientes en cuanto a su impacto en el medio ambiente (Armanda et al., 2019). Por ello, es fundamental promover métodos y procesos sostenibles para obtener alimentos seguros y nutritivos. Un área de investigación de tendencia es el uso de aguas residuales de acuicultura provenientes de cultivos integrados como bioestimulante, que tiene el potencial de generar cultivos más resilientes y frutos más nutritivos y con mayor cantidad de compuestos beneficiosos para el ser humano.

Los Sistemas Agro-Acuícolas Integrados (SAAI) consisten en integrar prácticas acuícolas en diversas formas de cultivo y de esta forma compartir recursos (Zajdband, 2011). Un tipo de IAAS es la acuaponía (AQ), una tecnología que se ha estudiado durante más de 4 décadas. AQ se define como “un enfoque integrado multitrófico de producción de alimentos acuáticos que comprende al menos un sistema de recirculación de acuicultura (RAS) y una unidad hidropónica mediante el cual el agua para el cultivo se comparte en alguna configuración entre las dos unidades. No menos del 50% de los nutrientes proporcionados a las plantas deben derivarse de aguas residuales de peces”, y la rotación en estos sistemas suele ser mínima o nula (Lennard y Goddek, 2019). Los AQ son una alternativa para la producción sustentable y orgánica porque impactan en menor medida al medio ambiente en comparación con la acuicultura y la hidroponía tradicionales (Yep y Zheng, 2019). Además, es reconocido por ser el sistema de producción de alimentos más sostenible que existe, por lo que contribuye a la seguridad y soberanía alimentaria (Flores-Aguilar et al., 2024).

El AQ comenzó a utilizarse principalmente en hortalizas con bajos requerimientos nutricionales, ciclos cortos y con resistencia a altos contenidos de nitrógeno sin ser susceptibles al encharcamiento en sus raíces (Barbosa et al., 2015; Nozzi et al., 2018; Yang y Kim, 2020). Hasta la fecha, se han cultivado con

éxito más de 150 especies, entre ellas hierbas, flores, hortalizas y árboles pequeños (Gavine y Gooley, 2003). Pero no fue hasta el resurgimiento de los sistemas acuapónicos desacoplados en 2015 que se promovió la suplementación o modificación de las aguas residuales de la acuicultura para hacer los sistemas acuapónicos más productivos y poder considerar cultivos con mayores requerimientos nutricionales como los arbustos frutales, al igual que las bayas.

El agua que proviene del cultivo de AQ contiene una amplia variedad de nutrientes. Los principales nutrientes son: magnesio (Mg), fósforo (P), azufre (S), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (B), hierro (Fe), calcio (Ca), potasio (K), molibdeno (Mo), cloro (Cl), sodio (Na) y nitrógeno (N) (Rakocy et al., 2007). Estos se ven presentes debido a los procesos metabólicos de los peces producidos a través de la respiración, la orina, las heces junto con los alimentos disueltos no consumidos formando moléculas orgánicas disueltas (DOM). También se tiene la presencia de microorganismos como bacterias, hongos y protozoos (Oladimeji et al., 2020). Esta agua, nombrada erróneamente *desecho*, es un agua enriquecida orgánicamente (OEW) puede ayudar a activar el metabolismo secundario, las defensas, y el crecimiento de las plantas cuando se utilizan como riego y, en consecuencia, pueden aumentar la calidad de las hortalizas al modificar su perfil fitoquímico (Bartelme et al., 2018; Delaide et al., 2019). Por lo tanto, se puede asociar que los SAAI promueve estrés benéfico (eustrés), que permite a las plantas activarse y mantener un estado de "espera" durante un período prolongado y tener ambos, un crecimiento y un desarrollo adecuado; el crecimiento se centra en el aumento en tamaño o masa, el desarrollo abarca una serie de cambios más amplios y complejos en la estructura y función de un organismo a lo largo de su ciclo de vida. El crecimiento es una parte importante del desarrollo, pero el desarrollo también incluye otros aspectos como la diferenciación celular, la maduración de tejidos y la adquisición de funciones especializadas tal y cómo los metabolitos especializados. Este aumento en los compuestos bioactivos de las plantas, en especial los compuestos fenólicos y flavonoides, presentan actividades que van desde anticancerígenas, antioxidantes, hasta anti mutagénicas.

Llegunas y Salas reportaron un mayor número de frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum*) con calidad comercial, junto con un contenido de carotenoides y

clorofila mayor en un cultivo acuapónico suplementado comparado con cultivo hidropónico. Monsees et al. encontraron que el cultivo acuapónico de la lechuga tiene rendimientos semejantes a los de la hidroponía convencional, pero con un ahorro de 63% de fertilizantes y un 100% de ahorro en agua. Además, su contenido de micro y macroelementos se modificó de manera positiva. Según Braglia et al., la actividad antioxidante de los cultivos de hierbas acuapónicas (i.e. *Ocimum basilicum* y *Petroselinum crispum*) fue significativamente mayor que la de los cultivos cultivados orgánicamente en el suelo. Suhl et al. encontraron el mismo efecto en la reducción de los síntomas de la pudrición apical (BER); esto se relacionó con que los microorganismos y las DOM en el agua actúan como bioestimulantes en los cultivos. Por tanto, el cultivo acuapónico presenta una alternativa a la bioestimulación para mejorar el valor nutricional y la tolerancia al estrés de especies con un alto contenido de compuestos bioactivos, como las plantas medicinales. Yang y Kim et al. encontraron un efecto positivo de los sistemas integrados sobre el crecimiento de la albahaca, pero el crecimiento general de la albahaca es diferente al de estas especies.

Los bioestimulantes son compuestos de origen biótico que pueden inducir un efecto de acondicionamiento pre-estrés, lo que promueve diversas respuestas fisiológicas que se traduce en mejores rendimientos (Vargas-Hernández y Ferrusquía-Jiménez, 2022). Las respuestas estimuladas de esta manera pueden alcanzar valores entre un 30% y un 60% más altos que los valores informados para el control (Ferreira et al., 2022; Hernández y Jiménez, 2022). Delaide et al., (2019) monitorearon durante tres ciclos de cultivo la producción de jitomate con lucioperca (*Sander lucioperca* L.) reportando que no existió diferencias significativas en el rendimiento, número y tamaño de los frutos. No siendo así en lo que respecta a la presencia de pudrición apical la cual incrementó de un 0.9 % en primer año hasta alcanzar un 18.6% en el último año, mientras que en el sistema acuapónico se mantuvo un nivel constante (0.2-0.4%) desde el primer ciclo. Ese fue el primer reporte donde se comienza a hablar del agua residual con un efecto benéfico, bioestimulante, hacia la planta.

Otros estudios relacionados fueron los que realizaron Suhl et al. y Delaide et al. donde encontraron efectos similares en la reducción de los síntomas de pudrición

apical en jitomate acuapónico y lo relacionaron con el efecto del agua residual acuícola con actividad bioestimulante en los cultivos. También, Braglia et al., estudiaron la actividad antioxidante en *Ocimum basilicum* y *Petroselinum crispum* cultivados en sistemas acuapónicos la cual fue significativamente mayor a diferencia de la de los cultivados orgánicamente. Rodgers et al. evaluaron el efecto de complementar el agua residual de peces en albahaca (*Ocimum basilicum*) y encontraron que complementar el agua residual mejora el rendimiento de manera similar al manejo hidropónico convencional mientras que aumenta su metabolismo secundario. Flores-Aguilar et al. compararon el cultivo de *Cuphea hyssopifolia* y *C. cyanea* utilizando sistemas acuapónicos comparados con el sistema tradicional de cultivo. Como resultado encontraron valores medios más altos de contenidos fenólicos totales y apigenina, así como de actividad antioxidante. Los antioxidantes desempeñan un papel vital en la activación de los mecanismos de defensa de las plantas contra factores estresantes tanto bióticos como abióticos a través de las vías del shikimato y del acetato.

1.2 Búsqueda de patentes relacionadas con el uso de sistemas acuapónicos

Respecto a la búsqueda sobre el uso de sistemas acuapónicos de manera comercial, se encontraron las siguientes patentes:

- La patente “AQUAPONIC GARDEN DEVICE” con numero US2019/0110417 A1, hace referencia a un sistema acuapónico para jardín con una base de columna adaptada el centro del estanque de manera de pilar y al que se le añade un panel solar. Esta patente requiere ensamblaje de todas las partes, además que su diseño vertical ocupa un sistema de riego diferente que genera una oxigenación que no es óptima para los peces.

- La patente “FRAME STRUCTURE OF AQUAPONIC SYSTEM ASSEMBLED BY MODULE ELEMENTS” con número US2022/0104443 A1, hace referencia módulos para las plantas para sistemas acuapónicos. Esta patente considera que se ocupe más de una en conjunto para un sistema comercial en vez de caseras y con densidades de siembra de peces y plantas de manera intensiva.

- La patente “AN INDOOR AQUAPONICS ASSEMBLY” con número AU2011100798A4, hace referencia a un sistema acuapónico con uso decorativo o

educativo. El diseño, sistema de riego y dimensiones comprende contenedores rectangulares con medio inerte para que las plantas crezcan, estos se apilan encima del estanque que queda en el fondo y se riegan por una columna interna que atraviesa el medio de los contenedores.

- La patente “MULTI-LAYERED AQUAPONICS SYSTEM AND METHOD” con número US2016113222A1, hace referencia a un sistema vertical con un lecho de capa lleno de sustrato inerte para crecer plantas. Esta patente tiene algunos puntos que se pueden optimizar respecto al gasto energético y el tiempo de limpieza del sistema. Por un lado, este modelo presenta un sistema de desagüe tipo sifón de campana, lo que mantiene el nivel del agua de manera lo que beneficia a algunas especies de hierbas que son sensibles al encharcamiento o al contacto constante con agua. Por otro lado, este sistema, requiere la instalación de iluminación led además de la bomba que recircula el agua.

1.3 Monitoreo tecnológico

En general, la bioestimulación mediante la aplicación de inductores representa un enfoque prometedor para optimizar el crecimiento y la productividad de las plantas y al mismo tiempo reducir la dependencia de insumos agroquímicos convencionales. Sin embargo, la eficacia de los inductores puede variar dependiendo de factores como las especies de plantas, las condiciones ambientales y los métodos de aplicación, lo que destaca la necesidad de realizar más investigaciones y desarrollo en este campo.

Existen patentes relacionadas con bioestimulantes y productos agrícolas diseñados para mejorar el crecimiento, la productividad y la resistencia de las plantas. Estas patentes pueden abarcar una amplia gama de tecnologías y productos, que van desde formulaciones específicas de bioestimulantes hasta métodos de aplicación y procesos de producción. Algunas patentes pueden estar relacionadas con la síntesis o formulación de ingredientes activos específicos para bioestimulantes, como extractos de algas, compuestos microbianos, hormonas vegetales o mezclas de nutrientes. Otras pueden cubrir métodos de producción, procesamiento o formulación de productos bioestimulantes, así como tecnologías

de aplicación, como recubrimientos de semillas, tratamientos foliares o aplicaciones al suelo. Algunos ejemplos de lo anterior se muestran a continuación.

1.4 Productos bioestimulantes comerciales

- La patente PLAGUICIDA BIOLÓGICO A BASE DE QUITOSANO con clave 2171131 y clasificación internacional A01N 43/16. El cuál hace referencia a una formulación plaguicida para bioestimular. En este líquido se genera una acción sinérgica entre el bioestimulante QUITOSANO y el plaguicida biológico que son nemátodos. Esta patente se encuentra modificada en las siguientes: W0/2002/037966 con clasificación internacional A01N 63/00; y PA/A/2003/004127 con clasificación internacional A01N 43/16 ambas de la empresa IDEBIO, S. L.

- La patente PROCESO DE EXTRACCIÓN EN PLANTAS DE COMPUESTOS BIO-ACTIVOS QUE INDUCE EL CONTROL EN SU PRODUCCIÓN Y LA PRESERVACIÓN DE SU COMPOSICIÓN METABÓLICA con clave 2019013930 y clasificación internacional A61K 36/18 de CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA. Que hace referencia a un proceso de extracción con la cual se genera un incremento del 30% de compuestos fenólicos totales y el 70% de flavonoides por la elicitación con etanol.

- La patente ANTIFUNGAL TORPENE COMPOUNDS AND PROCESS FOR PRODUCING THE SAME con clave 1173898 y clasificación internacional C07C 49/653 de PLANT BIOLOGICAL DEFENSE SYSTEM LAB. El cuál hace referencia a la preparación de un diterpeno y terpeno antibacteriales en contra de *Pyricularia .grisea* en el cultivo de arroz.

Sin embargo, la búsqueda de patentes relacionadas al uso de aguas residuales acuícolas o de alguna tecnología integrada tal y cómo la acuaponía no arrojó ningún resultado en la base de datos de patentes de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI).

El agua residual acuícola, que proviene de la acuicultura y la producción de peces u otros organismos acuáticos de manera integrada, contiene una variedad de nutrientes, compuestos orgánicos y microorganismos beneficiosos que pueden mejorar el crecimiento y la salud de las plantas cuando se utiliza como fertilizante o

bioestimulante (Braglia et al., 2022a). Algunas investigaciones sugieren que el uso de agua residual acuícola en la agricultura puede contribuir a la sostenibilidad al reducir la contaminación ambiental y proporcionar una fuente de nutrientes alternativa, no obstante, aún no se cuenta con datos que nos permitan observar el comportamiento de elicitación en el sistema inmune de las plantas por medio del uso de SAAI (Frassine et al., 2023; Kuo et al., 2024). Por lo que este proyecto tuvo como objetivo analizar el efecto en el desarrollo, crecimiento de la zarzamora cv. Tupy cuando se produce en un Sistema Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado para poder modificar la calidad del fruto de manera positiva por medio de una mayor producción de compuestos bioactivos.

1.5 Justificación

La acuicultura ha experimentado un crecimiento notable a nivel local, tanto que el año 2022 fue designado como el Año Internacional de la Pesca y la Acuicultura por la FAO. En México, la producción en este sector aumentó un 5.3% en 2021 en comparación con 2020, según la misma fuente. Sin embargo, la acuicultura convencional enfrenta desafíos considerables debido a la necesidad de recambios de agua superiores al 20%, lo que se vuelve problemático dada la disminución de fuentes de agua naturales. Por otro lado, la hidroponía ofrece un rendimiento hasta 11 veces mayor y un gasto de agua hasta 13 veces menor en comparación con los sistemas convencionales en suelo. Aunque persiste el gasto de fertilizantes, la integración de sistemas acuapónicos, que combinan la acuicultura y la hidroponía, puede mitigar estos desafíos al utilizar recursos compartidos de manera más eficiente. Al integrar estas tecnologías, se obtienen beneficios significativos. Por ejemplo, el agua utilizada en la acuicultura proporciona la mayoría de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas en un sistema acuapónico, lo que reduce el gasto de agua y fertilizantes. Además, estas prácticas son respetuosas con el medio ambiente y fomentan la diversificación en la producción de alimentos, lo que contribuye a la seguridad y soberanía alimentarias.

Además, el uso de Sistemas Integrados Agro-Acuícolas puede tener efectos positivos en el contenido fitoquímico de los cultivos. Los nutrientes presentes en el

agua acuícola, principalmente desechos metabólicos de los peces y alimento no consumido pueden fortalecer la inmunidad de las plantas y mejorar su calidad. Esto se alinea con la teoría del estrés, que considera que los factores bióticos y abióticos pueden estimular mecanismos de defensa y crecimiento en las plantas, lo que se denomina bioestimulación. El presente estudio tiene como objetivo analizar el efecto del uso de agua acuícola simple y suplementada en el desarrollo, crecimiento y calidad de la zarzamora (*Rubus ulmifolius*) cv. Tupy en un Sistema Integrado Agro-Acuícola. Al explorar esta relación y sus posibles beneficios, esperamos contribuir al avance del conocimiento en este campo y fomentar prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

1.6 Descripción del problema

Aún y cuando los SAAI se utilizan desde hace varios siglos su establecimiento exitoso (productividad) es sumamente complejo pues requiere inicialmente la interacción que existe entre el cultivo y el agua acuícola con sus características particulares locales junto con su amplia diversidad de compuestos orgánicos, y después, se encuentra un tercer activo que modifica esta interacción, los microorganismos (principalmente bacterias) los cuales transforman de manera dinámica los compuestos en el agua. Existen casos en los que no es posible establecer la integración acuapónica entre las especies elegidas y se debe proponer alguna otra vertiente de los SAAI. De acuerdo con Piñero et al., (2020) el cultivo acuapónico para melón (*Cucumis melo* L.) aumenta el tamaño del fruto, pero reduce su contenido de proteínas, aminoácidos totales y su absorción de NO_3 y K. Entre los factores que más afectan el crecimiento y desarrollo de los cultivos está la salinidad lo cual se relaciona con los nutrientes que se encuentran en la solución nutritiva. Entre los efectos adversos que causa la salinidad son limitar la productividad y afectan los procesos de fotosíntesis absorción de agua, causa estrés oxidativo y desequilibrio en la absorción de nutrientes entre otros (Vargas-Hernández y Ferrusquía-Jiménez, 2022). En el caso de la zarzamora, González-Jiménez et al. (2020) analizaron el rendimiento, calidad de fruto y estrés de la variedad Tupy cuando se cultiva de manera hidropónica en diferentes calidades

nutricionales de agua y reportaron que puede ser un factor de inhibición en el crecimiento generando una reducción del fruto. Además, existe la falta del conocimiento en el crecimiento, desarrollo y modificación del perfil fitoquímico en la planta causado por el agua nutritiva que se use en el riego (Gillespie et al., 2020; Rodgers et al., 2022). Analizar el efecto del agua acuícola en el crecimiento, desarrollo y calidad de fruto nos permitirá responder entre otras cosas si: ¿Es posible disminuir el gasto de agua y nutrientes en el cultivo de zarzamora si se cultiva de manera integrada agro-acuícola?, y ¿Qué tipo de estrés y qué tanto colabora este estrés en el crecimiento, desarrollo y aumento de metabolitos especializados en la planta al cultivarla en SAAI?

1.7 Hipótesis

La zarzamora (*Rubus ulmifolius*) cv Tupy cultivada mediante un Sistema Integrado Agro-Acuícola modificará significativa y positivamente el crecimiento, desarrollo y calidad del fruto debido a la bioestimulación generada por el agua residual acuícola comparado con un sistema hidropónico.

1.8 Objetivos

1.8.1 Objetivo General

Determinar el efecto en el crecimiento y desarrollo de la zarzamora debido a la bioestimulación mediante un Sistema Integrado Agro-Acuícola (SAAI) con agua simple y con agua suplementada comparado con un sistema hidropónico y dos controles, uno negativo y uno positivo; y de manera indirecta conocer su calidad con base en su estado de inmunidad.

1.8.2 Objetivos Particulares

a) Determinar el crecimiento, desarrollo y la bioestimulación fisiológica de zarzamora cv. Tupy cultivada en un Sistema Integrado Agro-Acuícola (SAAI) con tilapia (*Oreochromis niloticus*).

b) Determinar la inducción de metabolitos especializados (secundarios) y estatus de inmunidad de zarzamora cv. Tupy cuando es cultivada en un SAAI con tilapia.

CAPITULO II

2.1 Revisión de literatura

2.1.1 Agricultura

La agricultura tiene varias vertientes para la producción de alimentos, tal y como, agricultura a cielo abierto, en suelo, en sistemas protegidos, o con solución nutritiva (hidroponía) (Serraj et al., 2018). Esta última, tiene sus inicios en 1840 cuando Justus Von Liebig comprueba experimentalmente que las plantas pueden crecer en un medio diferente al suelo natural. Para el año de 1860 dos científicos alemanes, Julius Von Sachs y Wilhelm Knop, fueron los primeros en hacer crecer plantas en una solución que contenía los minerales esenciales para el crecimiento vegetal con lo que se obtiene el primer medio de crecimiento vegetal (Benedict, 1939). Gericke (1938) profesor de la Universidad de Berkeley en California, fue el primero en sugerir que los cultivos en solución se utilizarán para la producción vegetal agrícola (Hoagland & Arnon, 1938).

La hidropónia es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez del suelo agrícola como nutriente. En este sistema las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los microelementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas. Pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien utilizar medio inerte como soporte, ejemplos de este último son la arena lavada, grava, fibra de coco o perlita, entre otras (Khandaker & Kotzen, 2018).

2.1.2 Acuicultura

La Acuicultura se define como la explotación de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas (FAO, 2022). En 1977 se describió un sistema de recirculación en producción combinada de peces y plantas. El propósito era usar los nutrientes del agua de pez, combinada con una desnitrificación microbiana para una máxima purificación y tener como resultado una producción de pez bajo condiciones controladas de agua en recirculación (Naegel, 1977).

Los sistemas acuícolas de recirculación (RAS) se consideraban para el siglo

XX como una de las soluciones a los problemas de producción y encarecimiento de agua potable (Rakocy et al., 2016). Aunque estos minimizan y reúsan el agua dentro de un sistema cerrado, todavía está el problema del desecho de agua y nutrientes por los recambios. Si todas las variables del sistema (pH, temperatura, biofiltros, cantidades de alimento, entre otros) se encuentran en niveles óptimos, del 5 al 10% de agua nueva es suficiente para recambio, pero no sucede a menudo, por lo que los recambios suelen ser del 15 a un 20% del volumen de cada tanque (Rakocy et al., 2007). Porque mantener o mejorar la calidad del agua también mejora la productividad.

En la actualidad, más de 10 especies se producen en RAS, i.e., bagre africano, anguila y trucha como principales especies de agua dulce y rodaballo, lubina y lenguado como principales especies marinas (Espinal & Matulić, 2019). Los RAS también se convierten en un elemento crucial en la producción de alevines y juveniles de diversas especies. Se han obtenido rendimientos máximos sostenibles de muchas especies acuáticas silvestres. Por lo que los RAS se consideran una tecnología clave que ayudará al sector de la acuicultura a satisfacer las necesidades de las especies acuáticas en las próximas décadas (Goddek & Vermeulen, 2018).

2.1.3 Sistemas Integrados Agro-Acuícolas

Porciones de esta sección y la **Figura 1** han sido publicadas como parte de un artículo titulado “El impacto positivo de los Sistemas Integrados Agro-acuícolas en el Objetivo para el Desarrollo Sostenible 6- Agua limpia y Saneamiento” escrito por Flores-Aguilar P. S. y Soto-Zarazúa G. M., a través de la revista *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología* (ISSN: 2683-3107)-PCT, vol. 7, no. 12, pp. 8–25, Jan. 2024, doi: 10.61820/pct.v7i12.1105 y las **Figuras 2 y 3** han sido publicadas como parte de un artículo titulado “¿Puede la acuaponía ser utilizada para alcanzar el objetivo de Hambre Cero a nivel local? (título original en inglés: “*Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level?*”)” escrito por Flores-Aguilar, P.S.; Sánchez-Velázquez, J.; Aguirre-Becerra, H.; Peña-Herrejón, G.A.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M.; a través de la revista *Sustainability 2024*, 16, 1130. <https://doi.org/10.3390/su16031130>; **Apéndice B.1-2**)

Los Sistemas Integrados Agro-acuicultura (SAAI) son aquellos que vinculan la acuicultura con los sistemas de cultivo convencionales. Su generación surge de la necesidad compartida de manera mundial y local de asegurar una producción de alimentos sostenible, garantizar la seguridad alimentaria, eliminar todas las formas de malnutrición, implementar prácticas agrícolas resilientes y minimizar la contaminación y utilizar recursos valiosos (e.g. el agua) de manera más eficiente; definida en la Agenda 2030 para el desarrollo Sostenible como la meta 2 “Hambre cero” (Mchunu et al., 2017). De acuerdo con Baganz et al., (2021) los SAAI se engloban en un gran tronco con 3 grandes ramas, aunque existen varias ramas alternas con poca investigación (**Figura 1**).

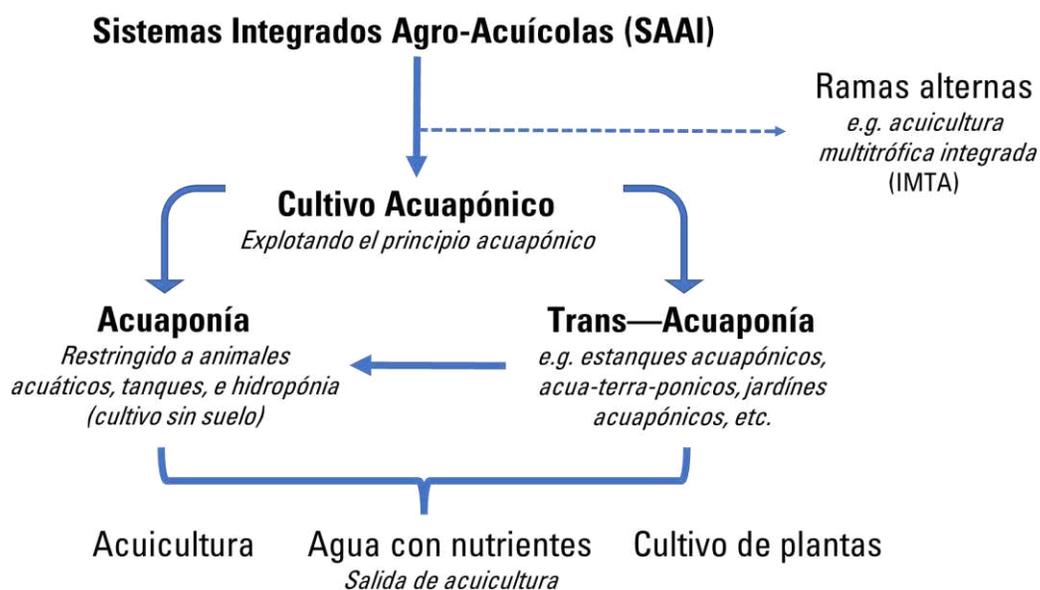


Figura 1. Definiciones y dependencias. Extraído y modificado de Baganz et al., (2021)

Existen registros del uso de sistemas acuapónicos de civilizaciones como China con una tradición de cultivo de peces de más de 3000 años (García-Trejo y Soto-Zarazúa, 2012). Se les atribuye a Von Sachs (1842) y Knop (1895) el perfeccionar las soluciones minerales de nutrición para cultivos sin suelo y Gericke en 1929 produjo la primera “agua de cultivo” comercial (El-Kazzaz y El-Kazzaz, 2017). Durante la década de los 60 en Inglaterra surgió una técnica de cultivo conocida como Técnica de Capa Nutriente (NFT por sus siglas en inglés, "nutrient film technique"). Esta técnica consiste en crear una fina corriente de solución

nutritiva que fluye de manera continua sobre las raíces de las plantas a cultivar (Cooper, 1979). En 1969, se empiezan a realizar investigaciones sistemáticas sobre el riego de vegetales con agua proveniente de sistemas acuícolas. En 1976, Lewis introduce sistemas de recirculación y filtros para mantener la calidad del agua. Más adelante, se introduce una modificación al sistema, destacándose que la productividad está vinculada con la temperatura (Lewis y Buynak, 1976).

La acuaponía es un ejemplo de SAAI la cual consiste en integrar prácticas acuícolas, particularmente en el esquema de tanques de recirculación (RAS) con la producción hidropónica (cultivo sin suelo) y de esta forma compartir recursos (**Figura 2**). Una definición más completa con todas las vertientes que promueven los SAAI sería: “La acuaponía se define como un enfoque integrado de producción de alimentos acuáticos multitróficos que comprende al menos un RAS y una unidad hidropónica conectada, mediante la cual el agua para el cultivo se comparte en alguna configuración entre las dos unidades. No menos del 50% de los nutrientes proporcionados a las plantas deben ser derivados de desechos de pescado” y los

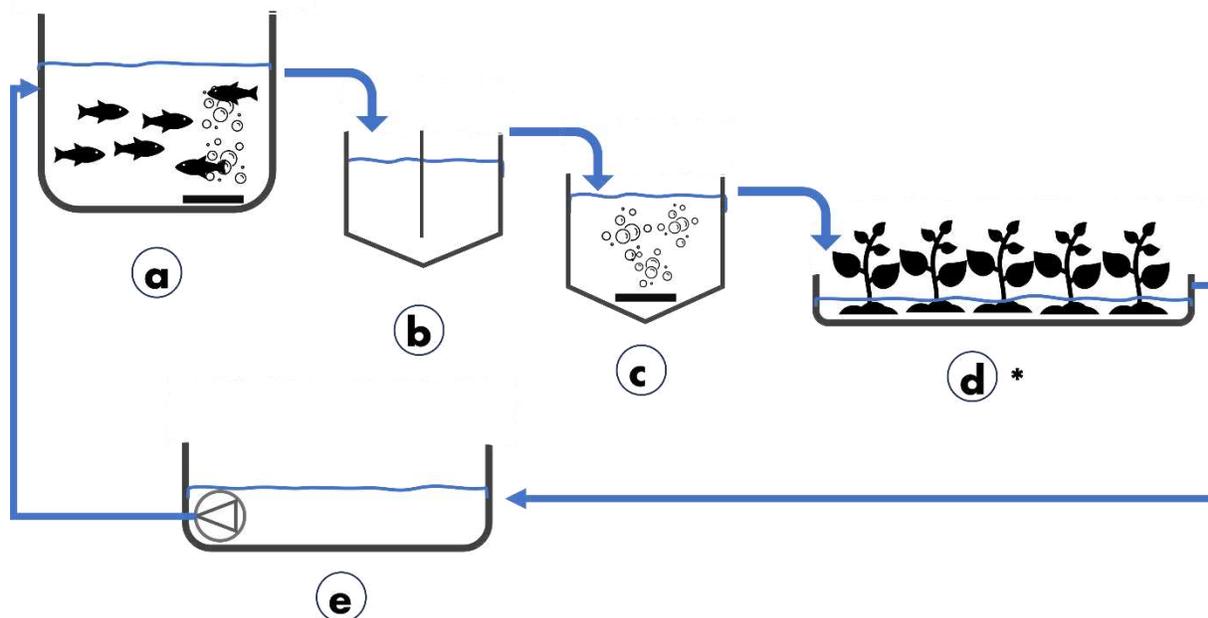


Figura 2. *Diseño tradicional del sistema acuapónico acoplado. a) Tanque del Sistema de Recirculación de Acuicultura (RAS); b) Decantador de lodos; c) Biofiltro con aireación; d) Diferentes unidades hidropónicas; e) sumidero y una bomba; * Las diferentes unidades hidropónicas dependen de la especie de cultivo, espacio y presupuesto. Modificado de (Palm et al., 2019).*

recambios en estos sistemas suelen ser mínimos o nulos (Lennard & Goddek, 2019).

2.1.3.1 Sistemas Acuapónicos Acoplados

Existen dos tipos de sistemas acuapónicos, los tradicionales, que se les llama de circuito acoplado, refiriéndose a que el agua recircula libremente, con un flujo lineal, unidireccionalmente de la unidad acuícola (RAS) a la hidropónica (Rakocy et al., 2016). Estos sistemas aprovechan el agua para reincorporar y la recirculan disminuyendo así el gasto de agua y por lo tanto la huella hídrica de los mismos (**Figura 3**). Ocupan los nutrientes de las heces y de los alimentos no consumidos disueltos en el agua del RAS; con la ayuda de microorganismos presentes en el sistema, descomponen la materia orgánica y convierten el nitrógeno, el fósforo y en menor medida el potasio en sus formas biodisponibles: nitratos, amonio y fosfatos (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , K^+) los cuáles son absorbidos por las plantas en la unidad hidropónica (Eck et al., 2019).

2.1.3.2 Sistemas Acuapónicos Desacoplados

El segundo tipo de sistema acuapónico son los sistemas desacoplados AQD. El cambio de los sistemas acuapónicos lineales hacia los desacoplados está basado principalmente en la optimización de la parte hortícola del sistema. Naegel fue el primero en describir un sistema de recirculación en producción combinada de peces y plantas que también dio las bases para los Sistemas Acuapónicos Desacoplados. Ocupando los nutrientes del agua de pez al pasar por una desnitrificación bacteriana y obtuvo como resultado una producción de pez bajo condiciones controladas del agua recirculante (Naegel, 1977).

A pesar de la flexibilidad inherente del diseño de los AQD y de los beneficios potenciales que mostraron, se observó otro problema. Las altas cantidades de nutrientes en forma de fertilizantes que se necesitaban agregar a la unidad HP la cual tiene mayor requerimiento nutricional que la parte RAS (Goddek et al., 2016; Goddek & Körner, 2019). Por lo que recientemente se han añadido otras unidades que transformaron a los sistemas acuapónicos desacoplados a ser multi- bucle. Las

propuestas de unidades son las siguientes: un reactor aerobio, donde los lodos se remineralizarán, es decir, se convertirán después de unos meses, a su forma biodisponible y asimilable por las plantas; otro anaerobio que generará metano (55% de la reacción total del reactor), dióxido de carbono, y dependiendo del pH que se maneje precipitación de diferentes componentes que podrían reincorporarse como fertilizantes a la unidad HDP; también se propuso una unidad de destilación, específicamente como destilación de membrana térmica, la cual se ha descrito que tiene el potencial de separar las sales disueltas y los nutrientes del agua (Fernández-Cabanás et al., 2020; Karimanzira et al., 2016).

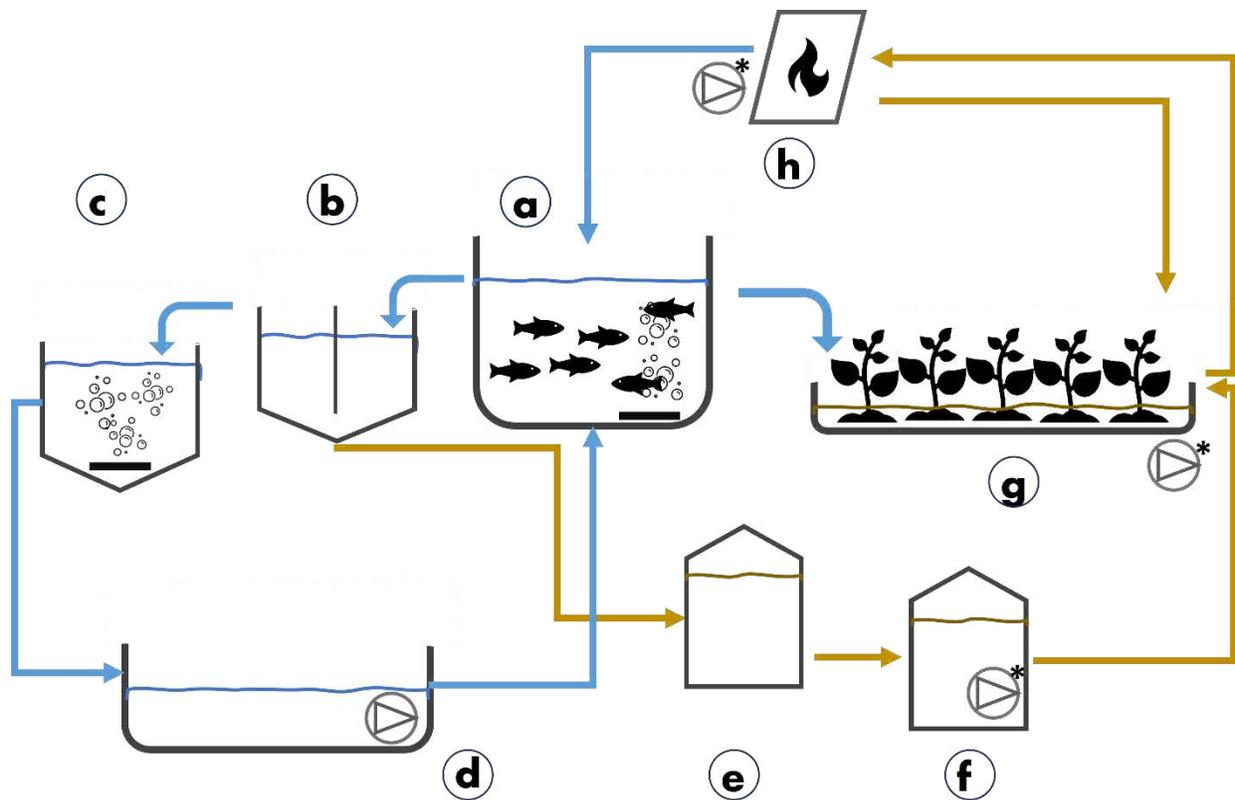


Figura 3. Sistema acuapónico desacoplado de bucle múltiple (AQD). **a)** Sistema de Recirculación de Acuicultura (RAS); **b)** Decantador de lodos; **c)** Biofiltro con aireación; **d)** Cáster y bomba; **e)** La primera etapa del reactor anaeróbico con producción de biogás principalmente; **f)** Segunda etapa del reactor anaeróbico con recuperación de fertilizantes para la unidad hidropónica; **g)** unidades hidropónicas; **h)** Tecnología de destilación térmica/desalación con recuperación de sales y nutrientes para cultivos y agua desmineralizada para RAS.; *En AQD se requiere más de una bomba para recirculación independiente, la cantidad dependerá del diseño. El color de las flechas indica la dirección del flujo del agua. Modificado de (Palm et al., 2019).

Estas modificaciones se generaron con el fin de aprovechar casi en su totalidad los nutrientes que salían del sistema en forma de desechos. Sin embargo, cada adición de unidad al sistema viene con su costo extra correspondiente, aún y cuando las propuestas de estas unidades sean eficientes y con pensamiento bio-inspirado (Shahzad et al., 2017).

2.1.4 El Origen de los nutrientes en Sistemas Integrados Agro-Acuícolas

Cada AQ es un complejo biosistema que alcanza un equilibrio dinámico en sus ciclos de nutrientes (Somerville, 2014). Por lo tanto, conocer el origen de estos nutrientes y cuál es su dinámica es necesario a fin de optimizar su uso dentro de los AQ. Las principales fuentes de los nutrientes dentro un AQ es el alimento proporcionado al pez y el agua la cual provee al sistema de Mg, Ca, Cl y S (Rodgers et al., 2022). El pescado necesita en su alimentación 7 minerales principales (Ca, F, K, Na, Cl, Mg y S) y 15 oligoelementos. Por lo tanto, el alimento comercial para los peces contiene de 6 a 8 macronutrientes, 40-45% de carbono orgánico, 1.2% de fósforo orgánico y de 6-8% de nitrógeno orgánico (Kubitza, 2019; SAGARPA, 2012). Dependiendo qué especie se desee alimentar será el porcentaje de proteína que contenga el alimento. Para peces omnívoros o herbívoros del 25-30% de proteína es necesario; en el caso de peces carnívoros más del 55% de proteína. A este alimento se le añade también lípidos los cuales pueden provenir de fuentes vegetales o de otros pescados (Eck et al., 2019).

2.1.5 Nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas

El crecimiento se refiere al aumento en tamaño o masa de un organismo, tejido u órgano a lo largo del tiempo. En el caso de las plantas, el crecimiento implica el aumento en longitud de los tallos y raíces, así como el engrosamiento de los tejidos mediante la división y la expansión celulares. El crecimiento es un proceso cuantitativo y observable que se mide en términos de longitud, área, volumen o peso. El desarrollo, por otro lado, se refiere a los cambios morfológicos, fisiológicos y funcionales que experimenta un organismo a lo largo de su ciclo de vida. Incluye la diferenciación de tejidos y órganos, la adquisición de nuevas funciones y la

transición a diferentes etapas de desarrollo, como la germinación, el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación en el caso de las plantas. El desarrollo es un proceso cualitativo y complejo que implica una serie de cambios estructurales y funcionales. Para el crecimiento adecuado de las especies dentro del sistema son necesarios ciertos elementos. De acuerdo a su importancia en cuanto a cantidad se dividen en macronutrientes: Carbono (C), Hidrógeno (H), Nitrógeno (N), Oxígeno (O), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Fósforo (P) y Azufre (S) y micronutrientes: Cloro (Cl), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo) (Wongkiew et al., 2017). Dentro del grupo de los macronutrientes, los nutrientes primarios son el N, P y K (Hawkesford et al., 2023; Seawright et al., 1998).

2.1.5.1 Mecanismos de absorción de nutrientes en especies vegetales

La absorción de nutrientes en el agua es posible debido a que las raíces de las plantas. Sin embargo, es necesario mantener una calidad de agua óptima para mantener los nutrientes disponibles para la planta. Una variable asociada con el proceso de disponibilidad es el pH (Somerville, 2014). La segunda variable asociada es la temperatura (T). La T puede reducir o favorecer la formación de compuestos tóxicos en el agua tanto para los peces como para las plantas.

Los aniones y cationes presentes en la solución son absorbidos por ellas y una vez dentro de las plantas causan reacciones químicas con protones (H⁺) o hidroxilos (OH⁻) como producto de salida de nuevo al medio, lo que mantiene el equilibrio entre las cargas eléctricas. Esta salida de cargas al medio puede causar cambios en el pH (Somerville, 2014).

Para mantener una conductividad adecuada para las plantas, se deben añadir bicarbonatos dependiendo de los requerimientos específicos de la especie vegetal. La temperatura (T) también debe ser considerada como primordial, pues puede reducir la absorción de ciertos compuestos o favorecer la formación de otros que presenten toxicidad para los vegetales (Lennard & Goddek, 2019).

Los macro y micronutrientes son elementos esenciales que las plantas necesitan para su crecimiento, desarrollo y metabolismo. La diferencia principal

entre ambos radica en la cantidad en la que las plantas los necesitan y en sus funciones específicas. Ambos tipos de nutrientes son necesarios para mantener un equilibrio nutricional adecuado en las plantas y promover su crecimiento óptimo. A continuación, se describen:

2.1.5.2 Macronutrientes

Los macronutrientes son requeridos por las plantas en grandes cantidades, de ahí su nombre *macro*, además son fundamentales para el crecimiento estructural y el desarrollo general de la planta.

a. Nitrógeno

El nitrógeno es absorbido por las plantas para producir aminoácidos, proteínas, enzimas y clorofila. Las formas de N más utilizadas en soluciones nutritivas son amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-). Los nitratos son rápidamente absorbidos por las raíces, son altamente móviles dentro de las plantas y se almacena sin efectos tóxicos. Dentro de los sistemas acuapónicos se oxidan mediante bacterias nitrificantes en la siguiente ruta: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$. El amonio sólo se absorbe en pequeñas cantidades y de almacenarse en altas cantidades pueden causar efectos tóxicos incluidos la clorosis de las hojas. Por otro lado, el exceso en el suministro de N, causa un alto crecimiento vegetativo, bajo cuajado en frutos, alto contenido de agua en los tejidos y baja lignificación de los tejidos entre otros efecto (Groenveld et al., 2019).

b. Fósforo

El fósforo estimula el desarrollo de las raíces, el rápido crecimiento de los brotes y la cantidad de flores. P se absorbe de manera fácilmente y puede acumularse sin dañar la planta. Su papel es fundamental en la formación de compuestos altamente energéticos (ATP, ADP y NADPH^+) necesarios para el metabolismo, anabolismo y catabolismo. Se sabe que el aumentar la temperatura en los sistemas y/o reducir el pH (> 6.5) tiene mayor efectividad en la adecuada

absorción del P que el añadir más de este elemento en forma de fertilizante (Eck et al., 2019; Hawkesford et al., 2023).

c. Potasio

El potasio es fundamental para la división y extensión celular, síntesis de proteínas, activación enzimática y fotosíntesis y también actúa como transportador de otros elementos y glúcidos a través de la membrana. Tiene un papel importante en mantener el potencial osmótico de la célula en equilibrio y regular la apertura del estoma. La deficiencia de éste provoca manchas amarillentas que se necrosan a los márgenes de las hojas. Además, las plantas con deficiencia se vuelven susceptibles a caídas bruscas de temperatura, estrés hídrico y ataques de hongos (Eck et al., 2019; Hawkesford et al., 2023).

d. Calcio

El calcio participa en la formación de la pared celular, en la permeabilidad de la membrana, la división y extensión celular. Una buena disponibilidad de Ca en el agua proveerá resistencia contra hongos y bacterias a la planta (Maucieri y col., 2019). Su deficiencia puede ser causada por una alta cantidad de humedad en el ambiente. Esto debido a que su transporte dentro de la planta es por medio del xilema en la transpiración (Somerville, 2014).

e. Magnesio

El magnesio es el aceptor central de electrones en las moléculas de clorofila y por lo tanto es un elemento clave en la fotosíntesis (Somerville, 2014). Se inmoviliza a valores de pH inferiores a 5.5 y presenta antagonismo con el K y Ca (Maucieri et al., 2019).

f. Azufre (S)

El azufre es tan necesario como lo es el fósforo. Las cantidades que necesitan las plantas de ambos nutrientes son semejantes. Se ha descrito que a fin

de optimizar su absorción se maneje en una relación 1:10 con N (Maucieri et al., 2019).

2.1.5.3 Micronutrientes

Los micronutrientes son necesarios en cantidades mucho más pequeñas que los macronutrientes. Aun y cuando se requieren en menor cantidad, son igualmente importantes para el crecimiento y desarrollo saludables de la planta.

a. Cloro

El cloro es fácilmente absorbido por las plantas y es móvil dentro de ellas. Se ve involucrado en el proceso fotosintético y en la regulación de la apertura de los estomas (Maucieri et al., 2019).

b. Hierro

El hierro es uno de los micronutrientes más importantes para el desarrollo de la planta. El pH que se recomienda mantener para promover una buena absorción de las plantas es entre 5.5- 6.0. Ya que compite con el Mn se debe mantener una relación de Fe- Mn de 2:1. Además, se debe mantener una T media para mantener la eficiencia de asimilación (Maucieri et al., 2019).

c. Manganeso

El manganeso está involucrado en el proceso de fotosíntesis al activar enzimas (Sandoval et al., 2020). Se ve inmovilizado en valores de pH menores a 5.5 y entra en competencia con la absorción de K y Ca (Maucieri et al., 2019)

d. Boro

El boro se utiliza dentro de las plantas como catalizador molecular. Esta función se ve principalmente en polisacáridos y glicoproteínas estructurales, transporte de carbohidratos y regulación de otras vías metabólicas en plantas.

También se ve involucrado en el proceso de reproducción y la absorción del agua de parte de las células (Somerville, 2014; Yep & Zheng, 2021).

e. Zinc

El zinc participa en la formación de la clorofila y en la actividad enzimática. Está involucrado en el crecimiento y la maduración en general (Somerville, 2014; Yep & Zheng, 2021).

f. Cobre

El cobre es necesario para la actividad enzimática, dentro de la clorofila y para la reproducción. Una buena disponibilidad en el agua ayuda a fortalecer los tallos (Somerville, 2014; Yep & Zheng, 2021).

g. Molibdeno

El molibdeno es esencial para las plantas al reducir los nitratos en su forma asimilable. En algunas plantas el Mo favorece la fijación del N. Esto debido a que cataliza reacciones de óxido-reducción (redox) con las diferentes formas de N en el agua. El Mo no puede ser absorbido por las plantas si el pH es menor a 5 (Somerville, 2014; Yep & Zheng, 2021).

2.1.6 Organismos utilizados en el Sistema Integrado Agr-Acuícola

2.1.6.1 Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

La tilapia es un pez de agua dulce que pertenece a la familia *Cichlidae*, se le considera la segunda especie más cultivada del mundo en lo que al agua dulce se refiere. Su nombre común es Tilapia sin embargo éste también se utiliza para describir tres géneros de peces: Tilapia, *Sarotherodon* y *Oreochromis* (Fitzsimons, 2000). Su importancia radica en que casi 6 millones de toneladas métricas de tilapia se cultivan anualmente en todo el mundo (Fuentes-Silva et al., 2013). Su cultivo se ha visto favorecido en varios países de clima tropical debido principalmente a que

es una especie que muestra crecimiento rápido, amplia resistencia a enfermedades y en general tolera condiciones que otras especies no podrían. La proteína obtenida de esta clase de pescado tiene una biodisponibilidad mayor aproximadamente en un 5 % a un 15 % que la derivada de fuentes vegetales. Contiene lisina y metionina, aminoácidos esenciales; También ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA) beneficiosos para el desarrollo infantil y para la salud en la edad adulta. También contiene vitaminas D, A, B y minerales como calcio, fósforo, yodo, zinc, hierro y selenio (SAGARPA, 2012). La tilapia tiene un ciclo productivo corto desde el nacimiento hasta su aprovechamiento (seis a nueve meses), tolera fluctuaciones drásticas en la calidad del agua y es resistente a bajos niveles de oxígeno por lo que es una especie ampliamente estudiada y cultivada dentro de los SAAI (Kubitza, 2019; SAGARPA & SENASICA, 2008).

El rango óptimo de temperatura para la Tilapia es de 18-24°C y su rango de su tolerancia de salinidad llega hasta 9000 mg/l. Entre los niveles de dureza en el agua o concentración de iones de Ca y Mg como elementos principales, la clasificación en mg/l es la siguiente: 0 – 75 blanda, 76–150 moderada, 151–300 media y mayor a 300 dura. Los niveles más adecuados para la Tilapia van desde 20 a 300 mg/l. Los requerimientos de comida son una dieta del 31 al 38% de proteína y de 3-8% de grasas dependiendo de su etapa fenológica se hace el ajuste a la proporción de proteína (Kubitza, 2019; SAGARPA & SENASICA, 2008).

2.1.6.2 Zarzamora (*Rubus ulmifolius* cv. Tupy)

La zarzamora (*Rubus* sp.) tiene sus orígenes en las zonas altas tropicales de América, tal y como Colombia, Ecuador, Panamá, Guatemala, Honduras, México y Salvador. El género *Rubus* es uno de los de mayor número de especies en el reino vegetal, aunque generalmente se asocian como *frutos del bosque*, *bayas* o *berries* a los géneros *Vaccinium* sp.(arándano) y *Fragaria* sp. (fresa) (Huynh et al., 2019) . La zarzamora tiene un ciclo de vida único en su tipo. Aún y cuando es una planta perene su fructificación es bianual. Los primocanos, brotes vegetativos, se desarrollan en la temporada actual. Los floricanos, brotes reproductivos se desarrollan en la segunda mitad del año. En México, se han desarrollado sistemas de producción especializados para extender la temporada de la variedad 'Tupy', el

cultivar más cultivado. Esta producción especializada no es ni sostenible, ni orgánica (Grupo INTAGRI, 2016; Strik & Finn, 2012). Además, las propuestas para cultivos orgánicos se han enfocado en el tratamiento de infecciones y plagas de con mezclas de aceites y jabón para evitar plaguicidas contaminantes (Hanson et al., 2014).

a. Manejo tradicional de la zarzamora

Para el manejo del cultivo de zarzamora lo primero que se realiza es la poda del cultivar, es decir, las ramas se cortan a la altura de la copa y se queman en invierno. A los primocanos se les fuerza a crecer mediante riego y fertilización. Los botones florales se estimulan para que se desarrollen utilizando métodos de cultivo y aplicaciones de ácido fosfórico y etefón. Después que los primocanos has emergido, es decir 5 a 7 meses después, el crecimiento se ralentiza por medio de aplicaciones de sulfato de cobre, urea y aceite mineral. Las plantas se secan y luego se deshojan por medio del uso de una combinación de urea, sulfato de amonio, sulfato de cobre y aceite mineral. El ácido giberélico y una citoquinina se utilizan para promover la brotación. La cosecha de frutos comienza alrededor de 90 a 100 días después de la defoliación. Una vez finalizada la primera cosecha, los productores pueden podar para eliminar la parte de la caña que fructificó y repetir los tratamientos de estimulación de brotación para obtener una segunda cosecha; esto puede repetirse para un tercer cultivo, sin embargo, el rendimiento se reduce para cada cultivo sucesivo. Con estos métodos, la temporada de fructificación en México se extiende desde mediados de octubre hasta principios de mayo para el mercado de exportación y de mayo a junio para los mercados locales (Grupo INTAGRI, 2016; Santos Hernández, 2021; Strik & Finn, 2012) .

b. Requerimientos nutricionales de la zarzamora

La zarzamora tiene diferentes variedades que son más aceptadas comercialmente y mucho se trabaja en mejorarlas y tropicalizarlas. Al ser un alimento muy costoso en el mercado, es por lo que las grandes empresas productoras de berries invierten grandes cantidades de fondos en generación de

nuevas variedades mejoradas pero estas investigaciones, como es de esperarse, están bajo resguardo. Por lo que de manera general se ha descrito el requerimiento nutricional de la zarzamora y se han generado fertilizantes para berries de cualquier tipo. Nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio son absorbidos por la planta para usarlos durante su proceso de desarrollo vegetativo y producción de fruta. El magnesio y el cobre son asimilados para activar los procesos de fotosíntesis; el zinc, el hierro y el magnesio se emplean en la floración y fructificación (Bernal Estrada & Franco, 2008). A continuación, se describe las recomendaciones de uso de nutrientes en manejo convencional, sabiendo de antemano que el riego debe ser abundante durante la floración y el crecimiento de la fruta, de esta manera se aumenta el crecimiento de la fruta, su tamaño y su cantidad por planta.

El requerimiento de nitrógeno es de 12 t/ha, es decir, por cada tonelada de fruto que se coseche se ocuparán 12 kg de nitrógeno. El nitrógeno es absorbido por las plantas para producir aminoácidos, proteínas, enzimas y clorofila (Groenvelde et al., 2019). Se considera que la eficiencia de absorción en suelo va del 50 al 90%. El fósforo estimula el desarrollo de las raíces, el rápido crecimiento de los brotes y la cantidad de flores (Eck et al., 2019). Para fósforo se tiene el rango de requerimiento en suelo desde 40 a 160 kg (Grupo INTAGRI, 2021).

En el caso del potasio su requerimiento va desde 50 hasta 200 kg. El potasio es fundamental para la división y extensión celular, síntesis de proteínas, activación enzimática y fotosíntesis y también actúa como transportador de otros elementos y glúcidos a través de la membrana. Para magnesio se recomiendan aplicaciones desde 5 hasta 20 kg. El magnesio es el aceptor central de electrones en las moléculas de clorofila y por lo tanto es un elemento clave en la fotosíntesis (Marschner, 2012; Somerville, 2014).

Para los micronutrientes se recomienda las siguientes porciones Fe, 0.5 -5 kg/ha; Mn, 2-15 kg/ha; Zn, 0.5-10 kg/ha; Cu 0.5-5 kg/ha; B, 0.5-2 kg/ha, Mo, ≤0.5 kg/ha. El manganeso está involucrado en el proceso de fotosíntesis al activar enzimas, entra en competencia con el calcio el cual participa en la formación de la pared celular, en la permeabilidad de la membrana, la división y extensión celular. El boro se utiliza dentro de las plantas como catalizador molecular. El zinc participa en la formación de la clorofila y en la actividad enzimática. Está involucrado en el

crecimiento y la maduración en general. El cobre es necesario para la actividad enzimática, dentro de la clorofila y para la reproducción (Grupo INTAGRI, 2021; Hawkesford et al., 2023; Somerville, 2014). Para la etapa de floración su requerimiento suele modificarse (**Tabla 1**).

Tabla 1. *Requerimientos nutricionales recomendados de macro y micronutrientes para la etapa de floración. Extraído de Grupo INTAGRI, 2021.*

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Porcentaje (%)						Partes por millón (ppm)				
2.5-	0.36-	1-	0.76-	0.17-	0.21-	50-	500-	4-	10-	30-
2.9	0.37	1.2	0.8	0.19	0.3	80	1000	8	15	60

2.1.7 Bioquímica y Bioestimulación

En los organismos vivos existe un balance en su sistema que se conoce como homeostasis. Cuando factores bióticos o abióticos se modifican por alguna circunstancia y se vuelven dañinos para el cultivo se habla de factor de estrés. El estrés se define como “cualquier condición desfavorable o sustancia que afecta o bloquea el metabolismo, crecimiento o el desarrollo de una planta” (Vargas-Hernández & Ferrusquía-Jiménez, 2022). Bajo la teoría de estrés se explica como estos factores de estrés pueden mejorar la calidad de las plantas e incrementar el rendimiento. Cuando el factor de estrés ha alterado la hormesis de la planta y esta hace una compensación en sus mecanismos de crecimiento, desarrollo o defensa lo cual modifica su “estado de salud” a nivel metabólico teniendo como resultado un aumento de ciertos compuestos que colaboran a fortalecer la inmunidad de la planta.

En condiciones normales de crecimiento se esperaría una producción baja de especies reactivas del oxígeno (ERO) en las células, mientras que cuando existe estrés en la planta la producción de ERO se incrementa (Rivera Cabrera et al., 2008). Para saber el estado de salud de la planta se requiere cuantificar una serie de marcadores de su metabolismo también llamados “biomarcadores” que de manera general nos dan un cuadro del desarrollo y respuesta al estrés (López-Hidalgo et al., 2021). Los que se determinarán en este son aquellos compuestos antioxidante enzimáticos que están presentes en los procesos normales de

crecimiento y desarrollo de la planta y que en dado caso se presente un evento de estrés para la planta que requiera mecanismos de protección celular para eliminar ERO o controlar su acumulación antes de que causen daños en el metabolismo o en la estructura celular entran en acción tal y como Súper óxido dismutasa (SOD), Malón di aldehído (MDA), Catalasa (CAT), y Fenilalanina amonio-liasa (PAL).

La historia del uso de elicitores/bioestimulantes para modificar las características de las plantas abarca varias décadas y continúa evolucionando con la investigación y los avances tecnológicos en curso. Los científicos y profesionales agrícolas han explorado varios inductores para mejorar el rendimiento de los cultivos, mejorar la absorción de nutrientes, mitigar el estrés abiótico y biótico y promover prácticas agrícolas sostenibles (Hernández & Jiménez, 2022).

La bioestimulación se refiere al proceso de mejorar el crecimiento, la productividad o la resiliencia de las plantas mediante la aplicación de diversas sustancias o técnicas que estimulan los procesos biológicos dentro de la planta. Estas sustancias a menudo se denominan elicitores (Hernández & Jiménez, 2022). Los elicitores pueden ser compuestos naturales o sintéticos que inducen una respuesta fisiológica en las plantas, provocando cambios en su crecimiento, desarrollo o mecanismos de defensa. Algunos tipos comunes de elicitores incluyen:

- Hormonas vegetales: hormonas como las auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico (ABA) y etileno desempeñan funciones cruciales en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas. La aplicación de estas hormonas o sus análogos sintéticos puede influir en varios aspectos de la fisiología de las plantas, incluida la germinación de semillas, el crecimiento de raíces y brotes, la floración y el desarrollo de frutos.

- Elicitores microbianos: ciertos microorganismos, como bacterias y hongos, producen compuestos que pueden actuar como elicitores cuando se aplican a las plantas. Estos inductores microbianos pueden desencadenar respuestas de defensa de las plantas, lo que lleva a una mayor resistencia a las enfermedades y tolerancia al estrés. Los ejemplos incluyen oligosacáridos, lipopolisacáridos y componentes de la pared celular derivados de microbios beneficiosos.

- Extractos biológicos: los extractos de diversas fuentes biológicas, como

algas marinas, algas y materiales vegetales, contienen compuestos bioactivos que pueden estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos extractos pueden contener vitaminas, aminoácidos, carbohidratos y otros compuestos que promueven la salud y la productividad de las plantas.

- **Productos bioestimulantes:** Los productos bioestimulantes comerciales están formulados para mejorar el crecimiento y la productividad de las plantas mediante la aplicación de ingredientes activos específicos. Estos productos pueden contener una combinación de extractos de plantas, inoculantes microbianos, hormonas y otros compuestos bioactivos diseñados para provocar respuestas beneficiosas en las plantas.

CAPÍTULO III

3.1 Metodología

3.1.1 Diseño experimental

A. Sitio Experimental

El trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el poblado de Amazcala, el cual pertenece al municipio del Marqués, Querétaro. Se localiza en el sector Suroeste del estado, entre 20°31' y 20°58' de latitud Norte. Su longitud se encuentra entre 100°09' y los 100°24' del Oeste, a 1850m sobre el nivel del mar. Asimismo, el experimento se realizó dentro de dos geodésica una con 90 tubos de 100cm y 90 tubos de 150cm y la segunda con 90 tubos de 60cm y 90 tubos de 110cm, todos de acero galvanizado. En este, se mantuvo el cultivo acuícola y en aquel, se realizó el cultivo de los arbustos frutales (**Figura 4**).

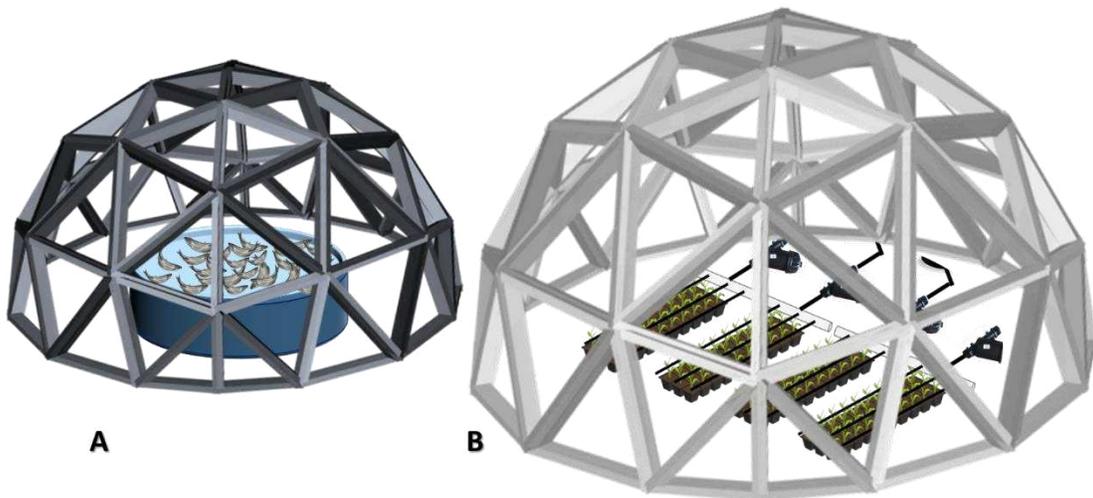


Figura 4. *Sistemas protegidos tipo geodésico, los cuáles se encuentra en las instalaciones del campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, en la zona del semidesierto del Marqués. Figuras geodésicas obtenidas del sitio <https://acidome.com/lab>.*

B. Condiciones climáticas

Para obtener las condiciones del micro clima del sistema protegido para zarzamoras, se instaló una estación meteorológica (Conjunto de sensores integrados ISS modelo 6357 con consola manual Vantage VUE modelo 6351 (DAVIS Instruments CA, USA) en la que se monitoreo la temperatura y la humedad tanto interiores como exteriores. Los datos de una semana representativa (febrero) se muestra en la **Figura 5A** y la **Figura 5B** nos muestra un periodo de 3 días para apreciar los valores del microclima con más detalle. Con base en estos datos se tomaron decisiones para modificar el experimento para mantener los valores lo más adecuado para el cultivo de zarzamora a fin de evitar un estrés de otros factores. Los cambios que se realizaron en los sistemas protegidos se detallan en la sección de *Resultados*.

3.1.2 Material biológico

A. Tilapia

Para el modelo de sistema SAAI se ocupó el agua proveniente de uno de los estanques del invernadero acuícola del Campus Amazcala con Tilapia en etapa juvenil de aproximadamente 100g c/u, y con una densidad de 20 peces/m². El estanque cilíndrico se mantuvo protegido mediante domo geodésico fue hecho de geomembrana negra (2.7 m de diámetro y 1.2 m de altura), su volumen de agua (4m³) se mantuvo en recirculación, con 3 tiempos de una hora de aireación (22:00, 1:00 y 3:00hrs) y se añadió el 10% de agua diariamente para mantener el volumen constante. Las tilapias se alimentaron a una ración diaria de 5% de biomasa repartida en 2 raciones al día, una a las 10:00hrs. y a las 17:00hrs. La comida que se utilizó fue marca fingerling para desarrollo con pellet 1.5mm y con 35% de proteína.

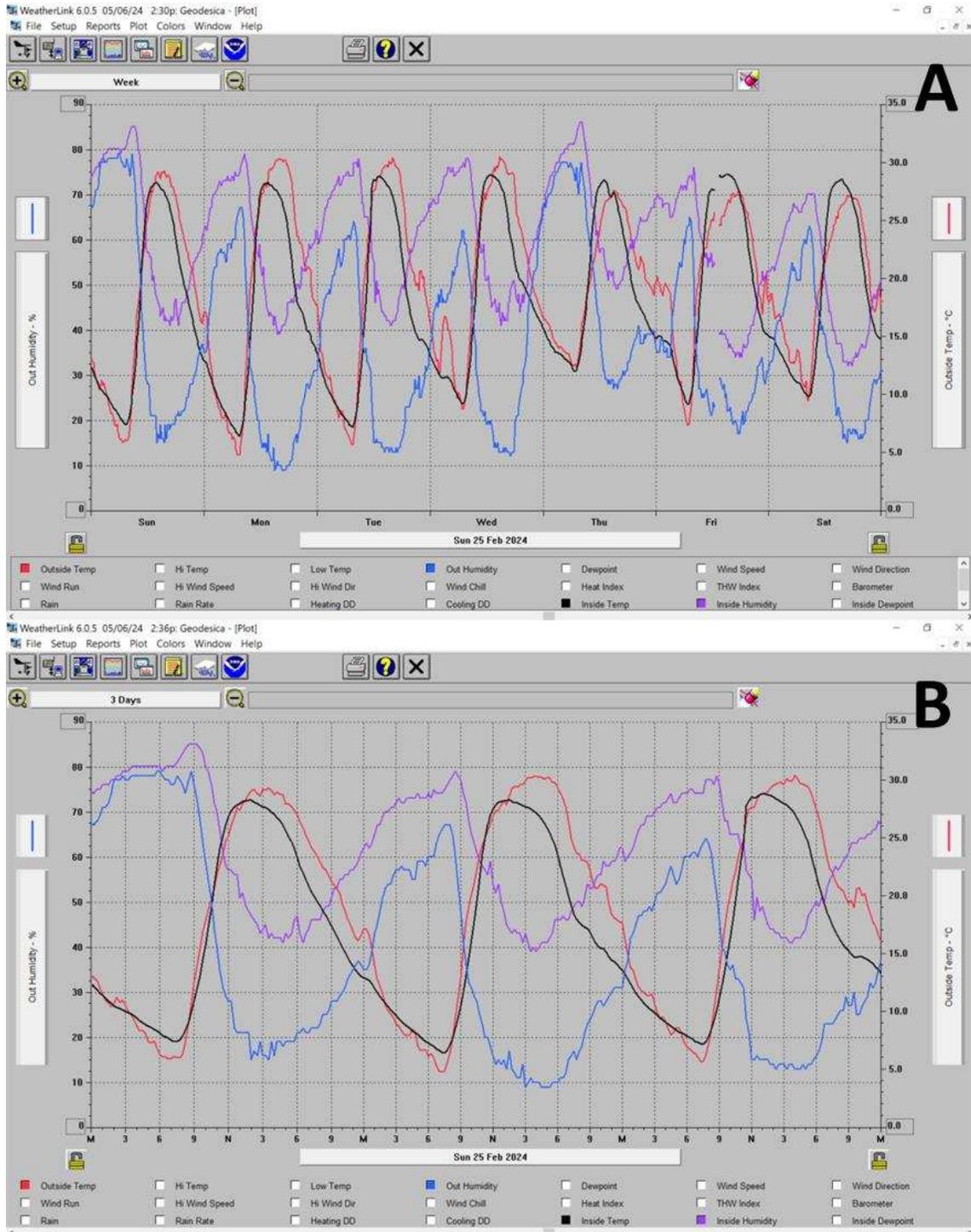


Figura 5. Conjunto de sensores integrados ISS modelo 6357 con consola manual Vantage VUE modelo 6351 (DAVIS Instruments CA, USA), las variables que se muestran son temperatura exterior (línea roja), temperatura interior (línea negra), porcentaje de humedad exterior (línea azul) y porcentaje de humedad (línea morada) del mes anterior al trasplante (febrero). **A)** datos representativos de siete días. **B)** datos representativos de tres días.

Se realizó una maduración del agua según lo descrito por Rakocy et al., (2003). En la primera etapa del proyecto fue necesario caracterizar tanto la calidad del agua que proviene del pozo como la del agua que proviene del cultivo acuícola (ver capítulo 4 y **Apéndice 1**). El agua de un estanque del invernadero comercial acuícola se recolectó en dos tinacos de 750L y se tomó una muestra que se envió junto con el agua del pozo al laboratorio “PHYTOMONITOR S.A DE C.V” para los diferentes análisis (parámetros físicos, aniones, cationes y microelementos y foliar, **Apéndices 2 y 3**), esto para tener los datos de entrada como valor inicial y con base en los resultados del análisis se hizo la suplementación de nutrientes faltantes de la solución hidropónica especializada para berries. Esta agua se recolectó dentro de tinacos de 750L c/u y se usó un sistema de riego por gravedad para los esquejes de zarzamora cv Tupy dentro del sistema protegido. El monitoreo de las variables de producción en el agua (**Tabla 2**) se realizó cada siete días a la misma hora utilizando LAQUAtwin COND y LAQUAtwin pH (HORIBA Scientific, Japón) para medir conductividad y pH respectivamente y EcoSense DO200A (YSI, Xylem, México) para medir Oxígeno disuelto.

B. Zarzamora

Para la unidad hidropónica del SAAI se ocuparon zarzamoras provenientes del vivero “El paraíso” (Avenida Héroes De La Reforma Col. Santa Ana Amatlán (Raúl Ramírez), Santa Ana Amatlán, Buenavista, Michoacán de Ocampo C.P. 60501 (**Apéndice 2**). Una vez obtenidos los esquejes se aclimatizaron dentro del invernadero tipo geodésica durante 2 semanas y se mantuvieron en el sustrato original, arcilla, con riego con regadera con agua de pozo . Se prepararon 96 bolsas con capacidad de 10L con rellenas con 500g de sustrato de fibra de coco (70% molido / 30% fibrilla) el cual presenta características de mantener un pH 7.5, conductividad de 2.00mS, una capacidad de campo de 3.8ml/g de muestra con una captación de iones 0.97 (meq H+) (Rincón et al., 2016).

El diseño experimental que se ocupó fue de dos tratamientos y dos controles en bloques al azar y tres unidades experimentales cada tratamiento (**Figura 6**). El tratamiento 1 consistió el agua residual acuícola; el tratamiento 2 consistió el agua

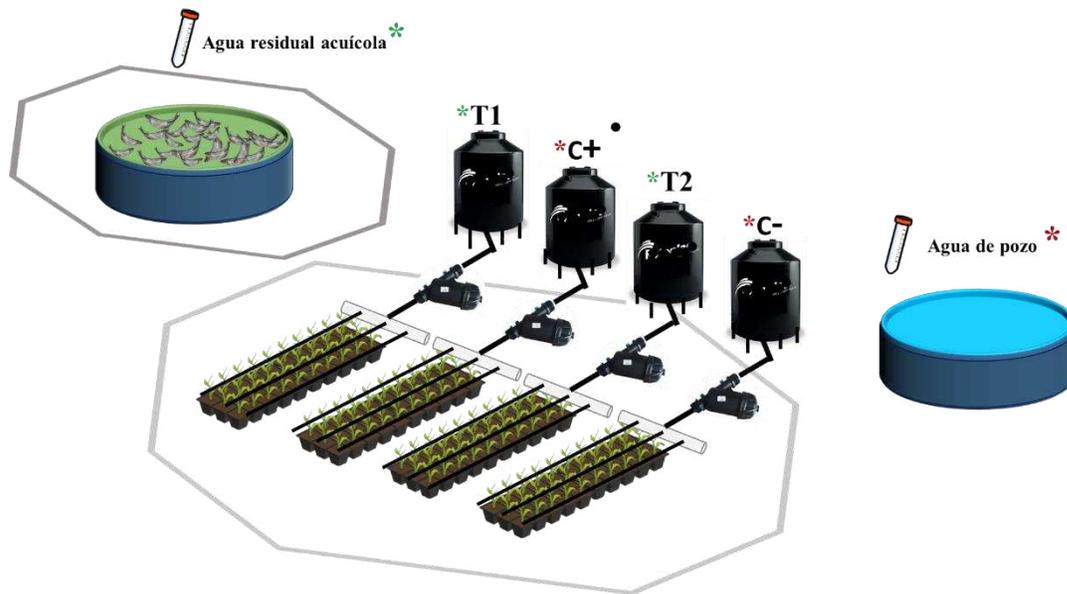


Figura 6. Diagrama esquemático para determinar el efecto en el crecimiento, desarrollo y calidad del fruto de Zarzamora (*Rubus spp*) cv. Tupy cultivado en Sistema Integrado Agro-acuícola (SAAI) con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y con dos tipos de aguas nutritiva i.e. T1 se refiere al tratamiento UNO que contiene solamente el agua de los peces y el T2 que además de contener el agua de los peces también incluye la nutrición recomendada para el crecimiento vegetativo de los berries; y dos controles i.e. C+ o control positivo el cual contiene la solución nutritiva estándar recomendada para producción de berries y C— o control negativo el cual no contiene nutrientes adicionales más que los inherentes al agua de la zona.

residual acuícola suplementada con fertilizante sólido hidrosoluble Poly-feed GG—12-43-12 + Microelementos (HAIFA Chemicals, México; Ficha técnica en **Apéndice 1**.) y añadir los nutrientes que faltan con base en los requerimientos nutrimentales de la zarzamora de manera análoga al Control positivo (C+) el cual contiene 250 g de Poly-feed GG—12-43-12 + Microelementos (HAIFA Chemicals, México) para generar una solución equilibrada para cultivos sin suelo, adecuado para nutri-irrigación con agua para frutales tal y como la zarzamora; el Control negativo (C-) fue el agua del pozo local previamente caracterizada. Se ocuparon 3 unidades experimentales con 8 esquejes de zarzamora c/u; 24 por tratamiento; 96 plantas en total.

El sistema de riego constó de un tinaco de 750 L dentro del cual se acopló una bomba sumergible (MARCA, MODELO PAIS) de 1 Hp y antes de llegar a los goteros se colocó un Filtros de disco de malla 120/ 130 micrones. Se usaron 48 goteros auto-compensantes con salida doble con sus tubillos y estacas cada uno. Con base en los resultados previos del microclima se dieron 3 tiempos de riego los

cuales se programaron por medio de temporalizador manual Temp-24H (STEREN, México) y su horario fue 9:00, 11:00 y 18:00 horas durante 20 min a cada planta , durante un tiempo de 216 h de experimentación.

3.1.3 Variables morfométricas de crecimiento y desarrollo de la zarzamora

A. Determinación de altura, diámetro basal y unidades SPAD de clorofila

Para las determinaciones de altura y diámetro basal del tallo se ocupó un flexómetro de 3m y vernier manual. Para la determinación de la clorofila se ocupó un SPAD520 plus meter (KOSMOS, MTY, México). Para el peso fresco y seco de las plantas se seleccionaron 5 plantas del lote de esqueje y se pesó completo la parte aérea y raíz. Se registraron el peso fresco y el largo de la raíz. Aquel se hizo por medio de una balanza digital L-PCR con una sensibilidad mínima de 0.005 kg (TORREY, México), y el último con ayuda de un flexómetro de 3 m. Para secar las muestras y obtener el peso seco se ocupó una Estufa Universal U (MEMMERT, Equipar, México) con aire forzado durante 48 hrs a 60 °C. La **Tabla 2** describe los análisis completos que se realizaron para analizar el efecto en el desarrollo, crecimiento y calidad de la zarzamora cv. Tupy en un Sistema Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado.

Tabla 2. Análisis que se realizaron para determinar el efecto en el desarrollo crecimiento y calidad del fruto de zarzamora (*Rubus sp.*) cv. Tupy en un Sistema Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado con tilapia (*Oreochromis niloticus*).

C+ : Solución nutritiva específica para zarzamora		
T1 : Agua residual acuícola simple		
T2 : Agua residual acuícola suplementada		
C— : Agua de pozo		
Condiciones de Producción	Variables morfométricas de crecimiento y desarrollo	Determinaciones bioquímicas en la planta
Temperatura	Altura	PAL (Fenilalanina amonio-liasa)
Conductividad	NDVI (índice de	POD (Peroxidasa)

	vegetación diferenciado normalizado	CAT (Catalasa) SOD (Super Óxido Dismutasa)
	Clorofila	DPPH
Oxígeno disuelto	Peso Fresco y Seco (Inicial y final)	ABTS
		TPC (Contenido total de fenoles)
pH	Largo de raíz	TFL (Flavonoides Totales)
	Diámetro basal de tallo	Proteína total

B. Determinación de índice de vegetación diferenciado normalizado

Se determinó el índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI), a partir de una base de datos de imágenes de todas las plantas sometidas a los tratamientos, para lo cual se tomaron fotografías del dosel de 4 plantas por unidad experimental para obtener 12 fotografías por tratamiento y un total de 48 fotos en total con una cámara fotográfica digital PowerShot A480 modificada (CANON, México) y se analizaron de acuerdo con la metodología descrita por Solano-Álvarez et al. (2022). Las imágenes se obtuvieron cada 72 hrs (día 0, 3, 6 y 9) durante el experimento y se procesaron utilizando la biblioteca Python y Opencv (PYTHON Software Foundation, EE. UU.)

C. Determinación de la respuesta fisiológica y la inducción de metabolitos especializados

Para el análisis de la inmunidad de la planta (**Tabla 2**) se recolectaron 3 ramas con 2 hojas de 2 plantas por cada unidad experimental, 6 hojas en total por cada tratamiento y controles, las cuales se introdujeron en nitrógeno líquido *in situ* y se guardaron en congelador hasta su análisis. Los diferentes ensayos de actividad enzimática se realizaron de la siguiente manera:

La actividad de Peroxidasa (POD) se determinó espectrofotométricamente en el lector Spectra Max (MOLECULAR DEVICES CO., Sunnyvale, CA, USA) por

la cuantificación de ácido cinámico formado a partir de la catálisis de L-fenilalanina. La actividad de catalasa (CAT) se determinó espectrofotométricamente por la cuantificación de peróxido de hidrógeno catalizado. La actividad de superóxido dismutasa (SOD) se determinó espectrofotométricamente por la inhibición de la reducción de cloruro de tetrazolio azul nitro (NBT). La actividad de Fenilalanina-amonio liasa (PAL) se determinó espectrofotométricamente por la cuantificación de ácido cinámico formado a partir de la catálisis de L-fenilalanina. La concentración de proteína se determinó espectrofotométricamente por la cuantificación del complejo azul brillante de Coomasie G-250 con la proteína de la muestra. SOD (Número de identificación de la enzima—EC 1.15.1.1), CAT (EC 1.11.1.6) y PAL (EC 4.3.1.24) sus ensayos se realizaron de acuerdo con los métodos descritos por (Beauchamp & Fridovich, 1971), (Aebi, 1984) y (Dickerson et al., 1984), respectivamente. De manera resumida, 500 mg de muestra fue homogeneizada, pesada, molida y luego congelada con 4 ml de tampón de extracción de fosfato (50 mM). La muestra luego se centrifugó durante 20 min a 10.000 rpm y 4°C. El sobrenadante se recolectó como un extracto enzimático para las determinaciones de SOD, CAT, POD y PAL.

Para la actividad SOD, se ocupó 50 µl de extracto enzimático a una mezcla de reacción de 2 ml con tampón fosfato (50 mM), NBT 98 %, (SIGMA-ALDRICH, St. Louis USA), metionina (SIGMA-ALDRICH, St. Louis USA), y riboflavina (SIGMA-ALDRICH, St. Louis USA). La mezcla se expuso a luz de manera uniforme durante 20 min. La absorbancia se leyó a 560 nm. Una unidad de SOD se define como la cantidad de enzima que inhibe la tasa de reducción de NBT en un 50 % en las condiciones de ensayo anteriores. Para la actividad CAT, se ocupó 30 µl de extracto enzimático con 100 µl de peróxido de hidrógeno 100 mM en 1,9 ml de tampón fosfato (50 mM). En este caso se midió la disminución de la absorbancia a 240 nm durante 1 min. Una unidad de actividad CAT fue igual a 1 µmol de H₂O₂ degradado por minuto. Para la actividad PAL se mezcló 100 µl de extracto enzimático con 1,15 ml de tampón de borato 0,1 M/10 mM L-fenilalanina (pH = 8,8). Las muestras se incubaron durante 1 hora a 40 °C y se añadirá 0,25 ml de HCl 1N para detener la reacción. Después, se tomaron 250 µl de sobrenadante a un nuevo microtubo 1.5 ml con un volumen igual de solución de reacción positiva [0.5% TBA en 20% (p/v)]

ácido tricloroacético (TCA) y otros 250 µl del supernadante se agregó a un volumen igual de solución de reacción negativa [20% (p/v) TCA]. Después se incubaron por 30 min a 95 °C, se enfriaron a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3000g por 10 min a 4 °C y se recuperó el sobrenadante. De este, se tomó 150 µl y se midieron en lector de microplaca Spectra Max (Molecular Devices Co., Sunnyvale, USA) en tres absorbancias diferentes a 440, 532 y 600 nm para después calcular su concentración en (nmol/ml) como

$$(a - b) / 157.000) \times 106 \quad 1$$

donde

$$a = [(a532+tbA) - (a600+tbA) - (a532 - tbA - a600 - tbA)] \quad 2$$

y

$$b = [(a440+tbA - a600+tbA+tbA) \times 0.0571] \quad 3$$

según el método descrito por López-Hidalgo et al., (2021).

Para el blanco se utilizó 250 µl de etanol al 80% con las soluciones descritas como de reacción positiva y reacción negativa. La proteína total (PTO) se determinó según lo descrito por (Bradford, 1976) mediante el método del reactivo que lleva su nombre. La actividad enzimática se expresa como U/mg de proteína para SOD, CAT y PAL. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

La determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) con metanol se realizó de acuerdo con el ensayo descrito por (Aguirre-Becerra et al., 2020). Se colocaron alícuotas de 1.865 ml del reactivo en microtubos de 2 ml y 0.135 ml del extracto metanólico de cada muestra. Se dejó reposar por 30 min protegido de la luz. Se midió con espectrofotómetro DR/6000 (HACH) a una longitud de onda de 480 nm. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

El ensayo ABTS (2,20-azino-bis-(3-etil benzotiazolin-6-amonio sulfonato)) se realizó de acuerdo con el método descrito por (Aguirre-Becerra et al., 2020). Se colocaron alícuotas de 1.865 ml del reactivo en microtubos de 2 ml y 0.135 ml del extracto metanólico de cada muestra. Se midió con espectrofotómetro DR/6000 a una longitud de onda de 734 nm analizando las muestras por triplicado. Los resultados se expresaron como el porcentaje de inhibición de ABTS. Todas las determinaciones se realizarán por triplicado.

La determinación de contenido total de fenoles (TPC) se realizó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu según el método modificado de (López-Hidalgo et al., 2021) utilizando ácido gálico como estándar. La curva se realizó con ácido gálico y agua destilada. En tubos de 2 ml se adicionaron 100 μL de cada extracto, 400 μL del solvente con 250 μL del reactivo Folin-Ciocalteu (1 N), y después de 5 min se puso en los tubos 1.25 ml de Na_2CO_3 para neutralizar, se incubó 2h sin agitación fuera del alcance de la luz. La absorbancia contra el blanco se leyó a 765 nm en un lector de microplaca Spectra Max (MOLECULAR DEVICES Co., Sunnyvale, USA). Las concentraciones se obtuvieron en miligramos equivalentes de ácido gálico (Eq G) por ml de extracto. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

La determinación de flavonoides totales (TFL) se realizó mediante el método descrito por (López-Hidalgo et al., 2021) con quercetina como estándar. El método consistió en mezclar 300 μL de las disoluciones con 120 μL de agua destilada y agregar 90 μL de una solución de NaNO_2 al 5%, después de 5 min adicionar 90 μL de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ al 10%, dejó reposar por 6 min. Después, se adicionó una solución de 600 μL de NaOH (1M) y se aforó con agua destilada hasta un volumen de 2.5 ml, se mezcló la solución. La absorbancia se midió a 510 nm en un lector de microplaca Spectra Max (MOLECULAR DEVICES Co., Sunnyvale, USA). Las concentraciones se obtuvieron en miligramos equivalentes de quercetina por ml de extracto. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

D. Análisis estadísticos

Los datos en tablas y figuras se presentan como el valor de la media \pm la desviación estándar. Los datos de NDVI, altura y diametro basal se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y se realizaron pruebas post-hoc con Tukey para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y entre los tiempos. Para estas pruebas de usaron $\alpha=0.001$, $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.1$ lo cual se indica en las gráficas mediante cuatro, tres y un asterisco respectivamente y $\alpha=0.05$ con dos asteriscos. Estos análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software RStudio, 2024.04.1 Build 748, 2009-2024 Posit, PBC; Chocolate Cosmos" Release (3ada7c6d, 2024-05-07) para Windows con fuente abierta.

Para los datos de la actividad enzimática se analizaron con ANOVA y su posterior prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ utilizando el software JMP Statistical Discovery 2013 SAS Institute Inc. versión 11.0.0 para Windows.

CAPÍTULO IV

4.1 Resultados y Discusión

4.1.1 Acondicionamiento estanque de tilapia

Para el acondicionamiento de la tilapia se realizó la maduración del agua como indica el apartado 3.1.2 *Tilapia* dentro de los domos geodésicos y se hizo un análisis para saber la composición del agua (**Figura 7, Apéndice 3**), una vez que el agua se maduró, se mantuvo con una ración de 140g de alimento para los peces dividido en 2 tomas (9:00 am y 6:00 pm). Las condiciones en las que se mantuvo el agua en el estanque fueron con un nivel de oxígeno disuelto de 3 mg/L como mínimo y 8 mg/L máximo, una temperatura mínima de 23 °C y una máxima de 31 °C, un pH de 7.3 mínimo y 8.9 máximo y una conductividad eléctrica mínima de 0.5 mS/cm y 1.03 mS/cm como máxima. Las medidas de 150 organismos, tilapias juveniles, que se utilizaron tuvieron un peso promedio de 79.1 ± 45.2 g, con un largo de 15.5 ± 3.9 cm por un ancho de 6.44 ± 3.2 cm.



Figura 7. Domos geodésicos dentro de los cuales se realizó el experimento para la bioestimulación de zarzamora (*Rubus* sp) cv Tupy con agua residual acuícola de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la zona semi-desértica del Marqués, Amazcala. **A)** Vista exterior de los domos geodésicos: a la izquierda, el domo acuícola con plástico blanco; a la derecha, el domo con las zarzamoras cubierto con malla sombra. **B)** Vista interior del domo con el estanque de tilapias. **C)** Vista interior del domo de zarzamora.

4.1.2 Acondicionamiento esquejes zarzamora

Se realizó un experimento previo con las horas mínimas requeridas para detectar un cambio enzimático metabólico, i.e. 72 horas a fin de conocer el comportamiento de los esquejes dentro del sustrato de fibra de coco y con los diferentes tratamientos (**Figura 8**; Karalija et al., 2020). Todos los tratamientos se ajustaron a un pH de 5.8 ± 0.2 según lo recomendado en literatura para una buena absorción de nutrientes (Cardona, 2019). La fibra de coco se extrae al remover las cáscaras fibrosas de los cocos y es un subproducto de las industrias de producción de aceite de coco y de extracción de fibra, compuesto casi enteramente de lignina. Antes de utilizarse, la fibra se composta durante 2-3 años, luego se deshidrata y se comprime. Para su uso, debe rehidratarse añadiendo agua hasta alcanzar 2-4 veces su volumen comprimido. Las características químicas y físicas de la fibra de coco son similares a las de la turba rubia, pero con la ventaja de tener un pH más alto. Además, su impacto ambiental es menor que el de la turba, cuya extracción excesiva daña los pantanos, y el de la lana de roca, que presenta problemas de eliminación. Por estas razones, la fibra de coco es cada vez más preferida en sistemas de cultivo sin suelo. Los resultados que se encontraron fueron los siguientes: El sustrato de fibra de coco no se lavó correctamente, su conductividad se encontró que estaba arriba de 2 mS/cm lo que causaría la absorción de nutrientes durante todo el experimento no fuera la apropiada. Debido a que los esquejes se mantuvieron en el suelo original (arcilla) en el que fueron entregados y se regaron únicamente con agua de pozo, una vez que se removió este y se trasplantaron en los vasos con la fibra de coco, los esquejes entraron en estrés nutricional (**Figuras 9 , 10 y 11**).

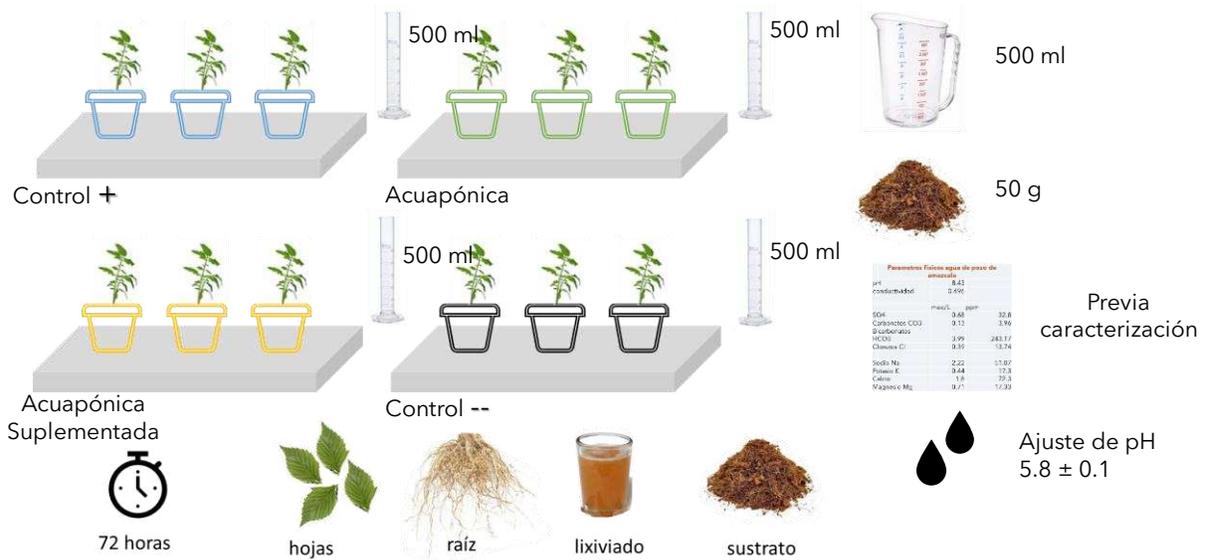


Figura 8. Esquema para la obtención del balance hídrico y el comportamiento al riego previo a periodo de experimentación

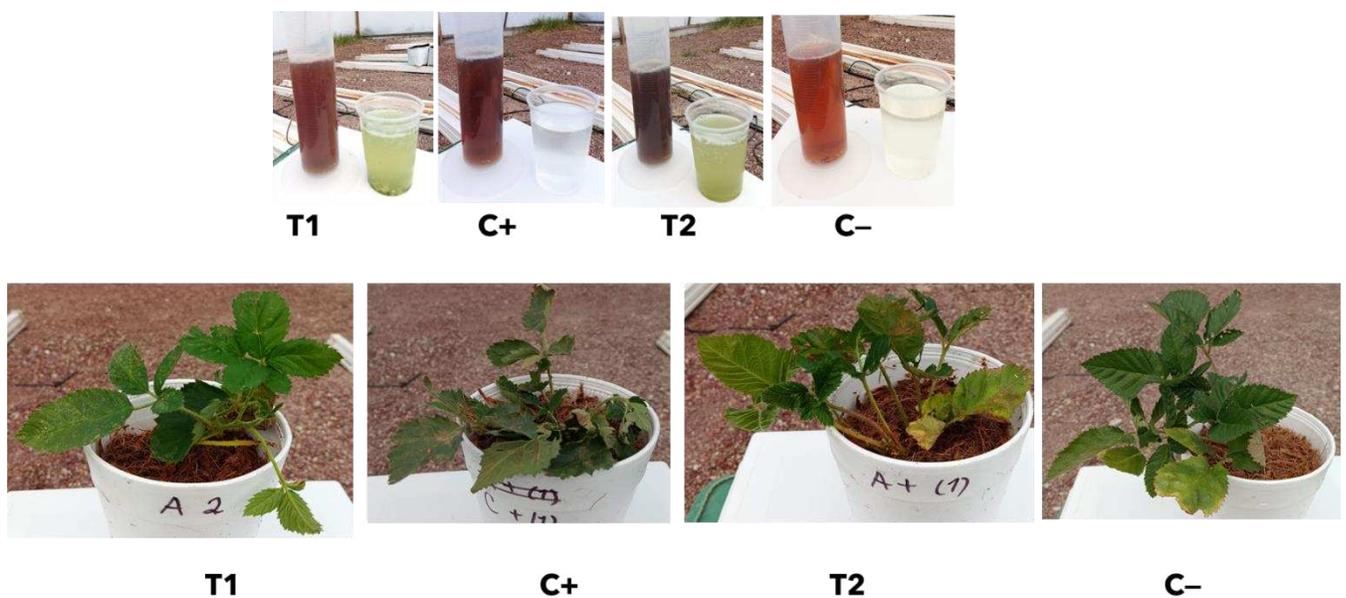


Figura 9. Resultados cualitativos de las diferentes nutriciones en 72 horas de tratamiento.

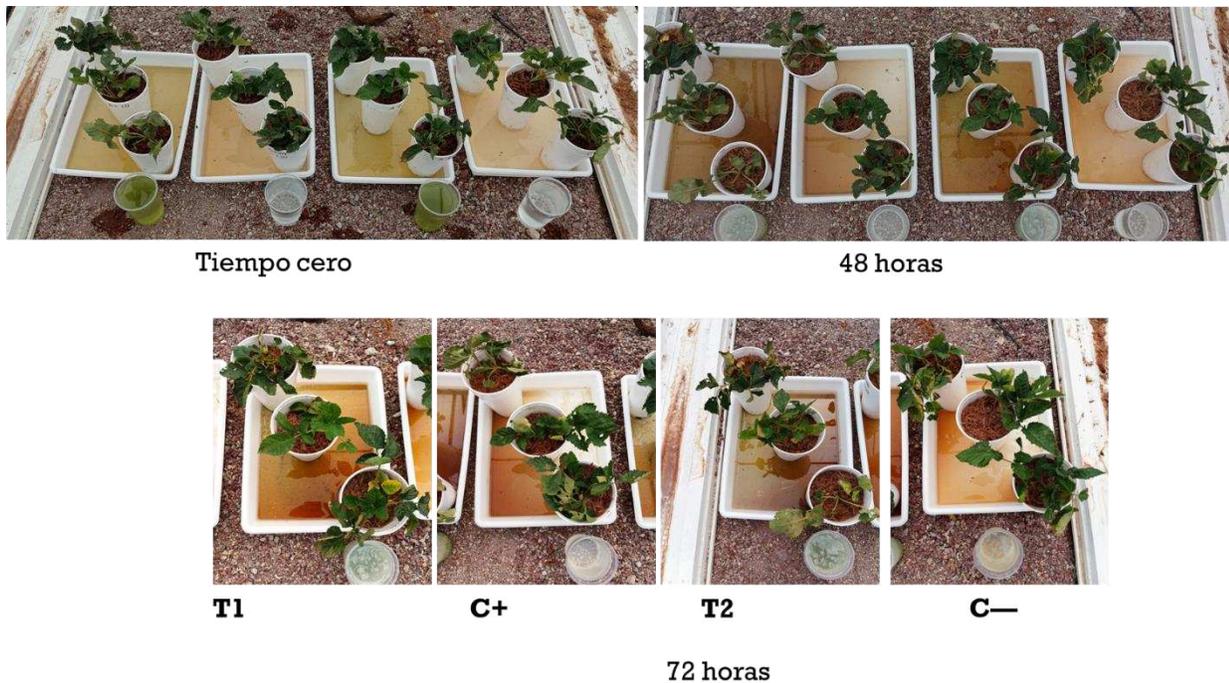


Figura 10 Resultados de análisis previo del requerimiento hídrico y comportamiento a las diferentes nutriciones en el Tiempo cero, a las 48 horas y a las 72 horas.

Esto se puede comprobar cuando se analiza cualitativamente la apariencia de las plantas y se observó que las plantas con mayor nutrición (C+ y T2) fueron las que mostraron hojas cloróticas mientras que el C- y el T1 no mostraron hojas cloróticas ni aparente estrés. Más datos que se obtuvieron de este experimento se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Pérdida de agua y requerimientos hídricos estimados de la zaramora cv Tupy según el tipo de nutrición en 72 horas.

Tratamiento	Promedio peso planta (g)	Pérdida de agua (g)	Requerimiento hídrico diario (ml)	Requerimiento hídrico por planta (ml)
C-	19.67 ± 2.08	1110	370	123.3
T1	18.67 ± 4.93	1030	343.3	114.4
C+	16.67 ± 2.08	1070	356.7	118.9
T2	13.33 ± 2.30	1060	353.3	117.8

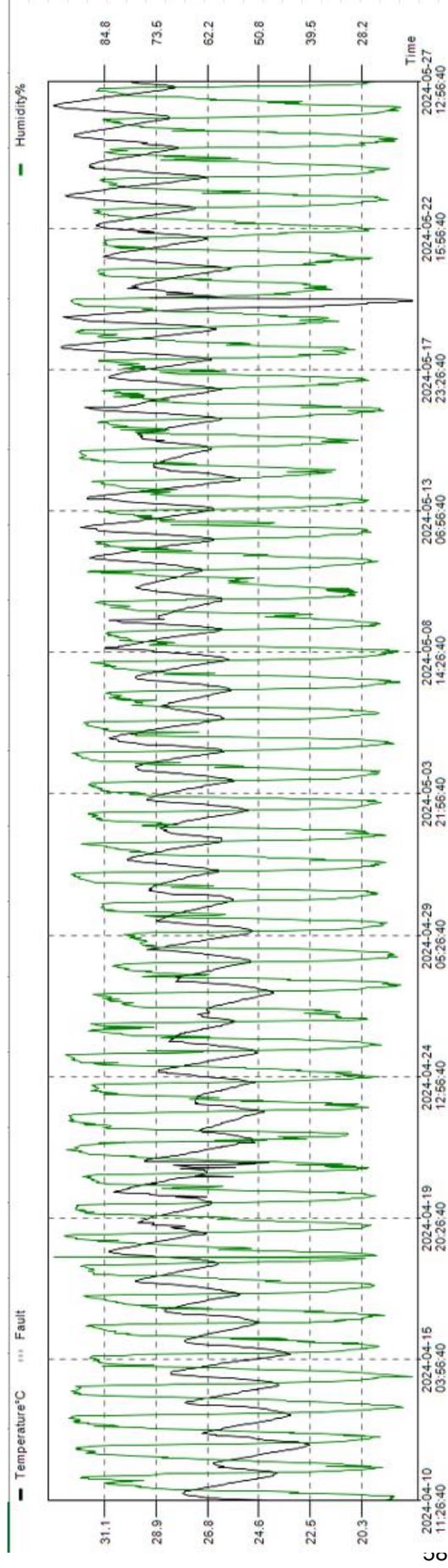


Figura 11. Dinámica de la temperatura del agua en el estanque y porcentaje de humedad dentro de domo geodésico acuícola. El monitoreo se realizó con un GSP-6 temperature & humidity Data Logger, ELITECH, México.

Con este experimento previo se tuvieron que hacer cambios y se atrasó el tiempo de los análisis. Según lo que se obtiene del apartado 3.1.1 *Condiciones climáticas* el microclima dentro del sistema protegido ya no era adecuado, se tuvo que poner maya sombra con un 50% de para bajar la temperatura de 50°C y mantenerla en un rango menor a 40°C. También, se tuvo que desechar el lote de esquejes de zarzamora. El rango de valores que se obtuvieron del agua del estanque antes de hacer el recambio y ocuparlo para regar y comenzar el tiempo cero del experimento fueron los siguientes: Temperatura 22.2 ± 6.8 °C, oxígeno disuelto 9.1 ± 2.5 ppm, pH 8 ± 0.4 , y conductividad 0.48 ± 0.15 mS/cm (**Apéndice 4 y 8**) y se perdió la temporada de siembra por lo que se tuvo que conseguir un lote nuevo de esquejes de zarzamora para sembrar en primavera.

Después que se obtuvo el nuevo lote de esquejes de zarzamora se mantuvieron en el suelo original pero ahora se agregó enraizador Rootex tipo 1 (COSMOCEL, México; ver ficha técnica en **Apéndice 6.**) en un volumen de 2.5g/L y se les pusieron 30ml a cada planta a fin de garantizar que las plantas no presentaran el mismo estrés nutricional previamente detectado. Esto se hizo tres veces en tres tiempos cada 3er día. Por otra parte, al sustrato de fibra de coco se le realizó un lavado en una relación 10:3 con Nitrato de Calcio - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y Sulfato de Magnesio - MgSO_4 y se humedeció el 100% del sustrato y se midió la CON que dio 1.92 mS/cm; después se hicieron 2 lavados con agua de pozo para retirar la solución y la CON final fue de 0.69 mS/cm un valor muy cercano al del agua de pozo lo cual comprobó que el lavado fue efectivo.

Una semana antes del trasplante de los esquejes de zarzamora, cuando la temperatura del agua del estanque alcanzó los niveles óptimos para la tilapia ($\geq 26^\circ\text{C}$) se cambió la ración a 140g de alimento en el mismo horario (**Figura 8 y 9**). En el tiempo cero se hizo el análisis nutrimental del agua de los peces y después se suplementó con los nutrientes según fue el caso (**Apéndice 4**).

El día 20 de mayo los esquejes fueron removidos de la arcilla en la que venían y se trasplantaron en bolsas de 10 litros con 500g de fibra de coco lavada y humedecida con agua de pozo y se programaron 3 riegos de 20 min c/u con agua de pozo con temporalizadores (STEREN Timer24h, México) individuales para cada tratamiento y controles i.e. 9:00, 11:00 y 18:00hrs. Transcurridas 24 horas del

trasplante en el sustrato se evitó el riego de las 11:00hrs y se agregaron 20 ml de Rootex tipo 1 en la misma concentración previa para ayudar al estrés ocasionado por el trasplante y se continuó los siguientes riegos de manera programada por 5 días más para completar la semana de aclimatación al sustrato de fibra de coco. Una vez terminado el tiempo de aclimatación al sustrato y a los tiempos de riego, se tomaron mediciones según la tabla 2 de la sección 3.1.2 (**Figura 12**).



Figura 12. *Trasplante del nuevo lote de esquejes de zarzamora. La figura muestra el proceso para retirar el suelo (arcilla) en el que venían los esquejes por medio de remojar la planta en agua de pozo hasta dejar únicamente las raíces.*

4.1.3 Variables morfológicas de crecimiento

A. Altura, diámetro basal y unidades SPAD de clorofila

El valor SPAD (contenido de clorofila) está asociado con la concentración de N, Mg y/o Ca en las hojas. Se sabe que el AOE, en general, proporciona una cantidad insuficiente de Mg y/o Ca, y que el fósforo es deficiente debido a su precipitación con Ca, causada por el pH inherente del agua en los estanques. Además, dado que el alimento proporcionado a los peces es deficiente en K y Fe, era fundamental igualar el pH en las soluciones nutritivas de todos los tratamientos

para evitar interferencias en la absorción de nutrientes. La actividad de clorofila se midió dos días antes de comenzar con las nutriciones (tiempo cero) y se observó que las condiciones del sistema protegido generaban diferencias significativas en la concentración de clorofila.

La cantidad de clorofila puede verse afectada por condiciones de estrés como la sequía, la salinidad, el exceso de luz o la falta de nutrientes. Estos factores también afectan la actividad enzimática, ya que el estrés puede inducir la producción de enzimas antioxidantes y otros mecanismos de defensa y pudo haber estado relacionado con el microclima del domo (**Figura 14**). La relación entre la clorofila y la actividad enzimática es, por lo tanto, un indicador del estado de salud y la capacidad adaptativa de la planta. Por lo tanto, se esperaba que las zarzamoras en el tratamiento CP o T2 crecieran mejor, sin embargo, solamente se mostraron diferencias significativas (**Figura 15B**) en el tiempo 72H entre T1 y los demás tratamientos con un $\alpha=0.05(**)$ y $0.01(***)$. Además, respecto al crecimiento vegetativo se encontraron diferencias significativas únicamente T2 y T1 con un

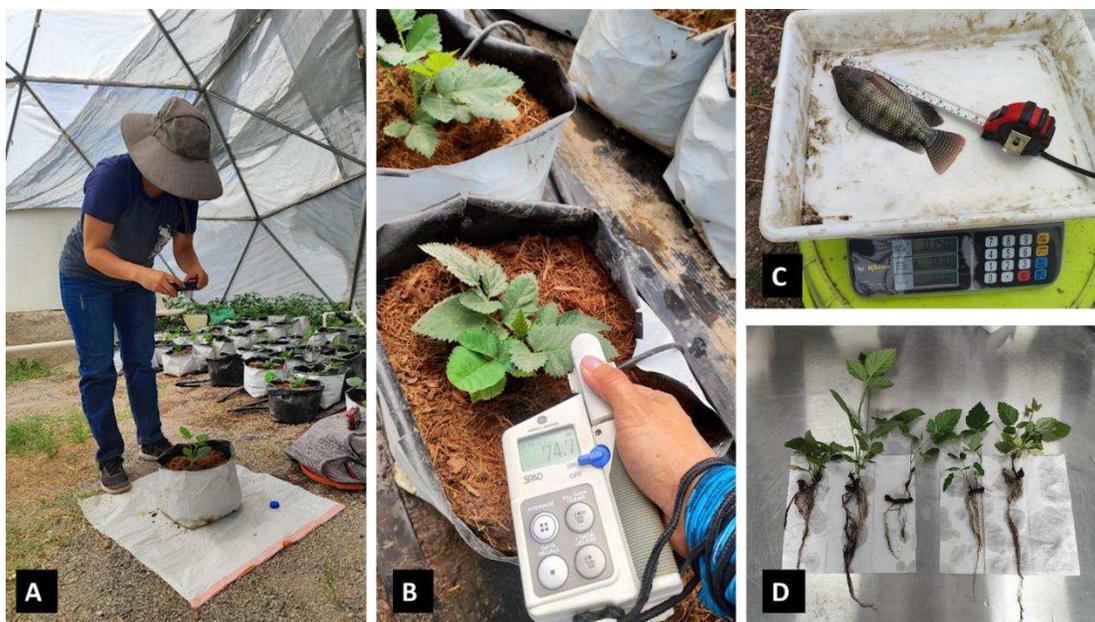


Figura 13. Nuevo lote de zarzamora recién trasplantado en sus respectivas unidades experimentales. **A)** Prueba con cámara fotográfica digital PowerShot A480 modificada (CANON, México) para capturar las imágenes de las zarzamoras y determinar el índice de vegetación diferenciado normalizado. **B)** Determinación de la clorofila con el instrumento SPAD520 plus meter (KOSMOS, MTY, México). **C)** Determinación de peso, altura y ancho de las tilapias para ajustar la ración de alimento diario. **D)** Determinación tiempo cero de largo la rama y diámetro basal.

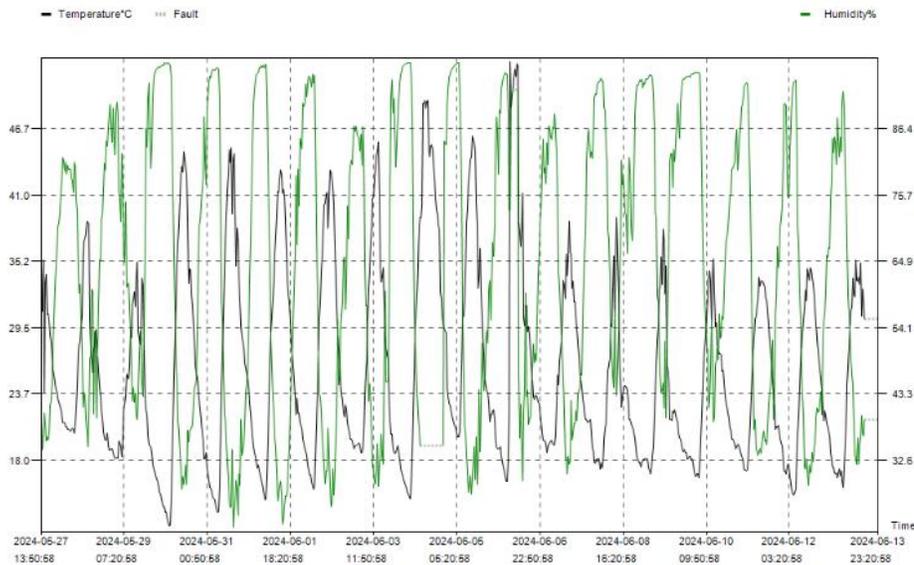


Figura 14. Microclima, temperatura y porcentaje de humedad, del periodo de experimentación dentro del domo geodésico de zarzamoras. (GSP-6 temperature & humidity Data Logger, ELITECH, México).

$\alpha=0.1$ (*) al final del tiempo 216H. La **Figura 15** muestra las diferencias significativas en el contenido de clorofila (unidades SPAD) encontradas entre los tratamientos antes del tiempo cero a las 216 horas del experimento. La **Figura 16** muestra las diferencias significativas en entre el largo de las ramas y el diámetro basal al inicio y al final del experimento.

La acuaponía es parte del área más amplia de los SAAI en la cual se unen dos de los sectores más productivos del campo: la acuicultura y la hidroponía (Palm et al., 2018). Según Yang y Kim, 2020a, 2020b, las hortalizas cultivadas en sistemas acuapónicos presentan una mayor fructificación en comparación con aquellas cultivadas en sistemas hidropónicos. Además, encontraron que, independientemente del tipo de cultivo, los sistemas irrigados con AOE muestran una reducción significativa en la producción vegetativa de biomasa. En este experimento se encontró que aparentemente se tenía un mayor crecimiento en los tratamientos nutridos, sin embargo, cuando se hacen pruebas estadísticas no se encontró ninguna significancia más que en las primeras 72 hr entre el tratamiento T1 y los demás tratamientos. Esto se puede explicar porque las elicitaciones/bioestimulaciones no se dan en periodos largos ni a lo largo de todo el ciclo. Con base en los hallazgos, se puede decir que hubo una bioestimulación en

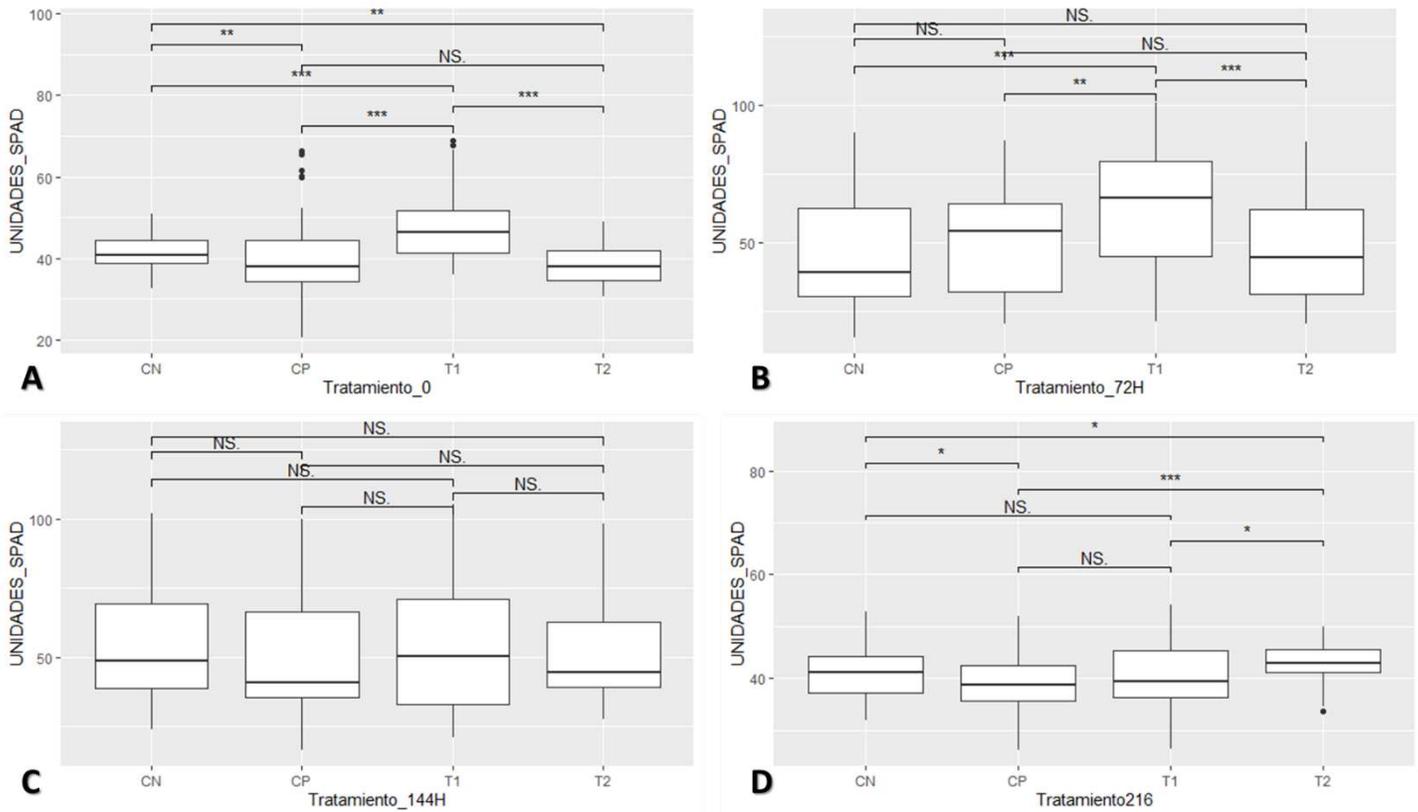


Figura 15. Diferencias significativas en el contenido de clorofila (unidades SPAD) encontradas entre los tratamientos (A) antes del tiempo cero, (B) a las 72 hr, (C) a las 144 hr y (D) a las 216 horas del experimento. (Tukey $\alpha=0.01$ (***), $\alpha=0.05$ (**), y $\alpha=0.1$ (*)).

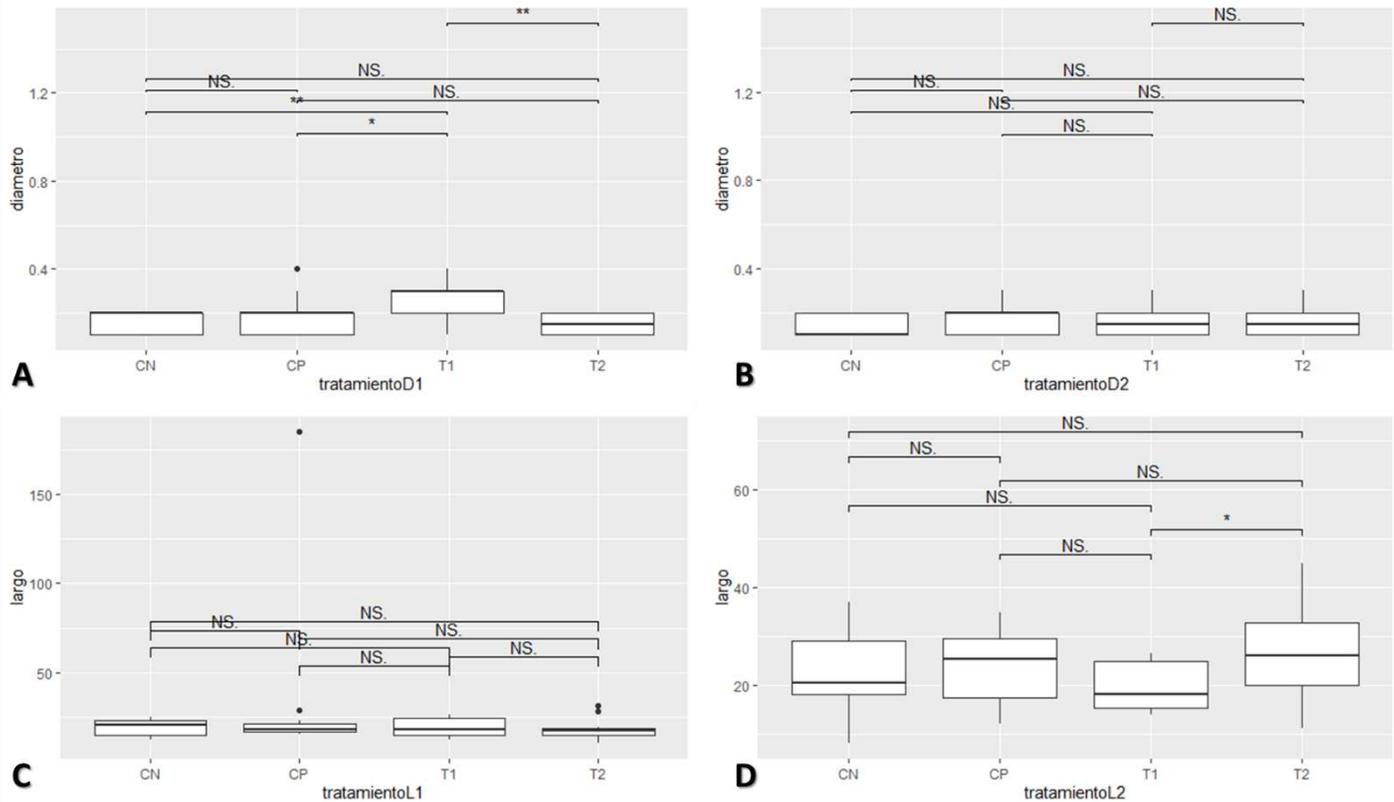


Figura 16. Diferencias significativas en el diámetro basal del tallo (A) antes del tiempo cero, y (B) a las 216 hr; y diferencias significativas en el largo de las ramas (C) antes del tiempo cero y (D) a las 216 horas del experimento. (Tukey $\alpha=0.01$ (***), $\alpha=0.05$ (**), y $\alpha=0.1$ (*)).

B. Índice de Vegetación Diferenciado Normalizado-NDVI

El NDVI es una herramienta poderosa para evaluar la salud de la vegetación, monitorear el crecimiento de cultivos, analizar la cobertura vegetal y gestionar el medio ambiente de manera eficiente y efectiva. En el tiempo inicial se tomaron las 12 fotos de cada tratamiento, 48 en total. Se ocupó una bolsa de plástico para cubrir el fondo del sustrato a fin de que el programa no tuviera errores. Sin embargo, por el material que se usó se generó mucho brillo que solo se notó hasta el momento de correo el programa en la computadora. Por lo que se tuvo que editar cada imagen recortándola y poniendo fondo negro para obtener un cálculo adecuado del NDVI. Para la última captura de las imágenes, se hizo a la misma hora que la primera toma, pero esta vez se usó como fondo una tela de algodón color negro mate para

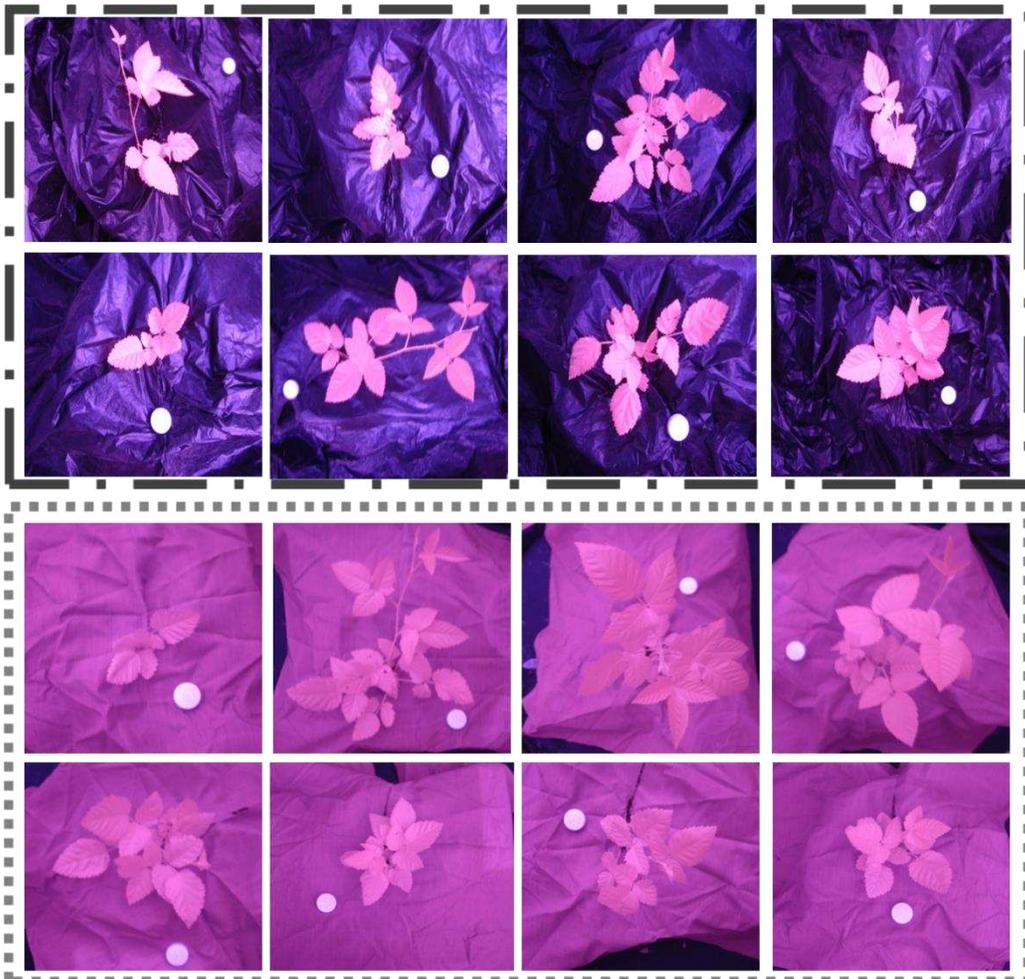


Figura 17. *Ejemplo de imágenes tomadas con la cámara fotográfica digital PowerShot A480 modificada (CANON, México). El conjunto de las 8 imágenes superiores fue tomado en el tiempo cero (recuadro con líneas intermitentes) con fondo de plástico; el conjunto de las otras 8 imágenes fue tomado en el tiempo final (línea punteada) con fondo de tela mate.*

evitar la interferencia una vez que se corriera el programa (**Figura 17**). El NDVI se basa en la reflectancia de la luz en las bandas NIR y RED. La vegetación sana refleja mucha más luz en el infrarrojo cercano (NIR) que en el espectro visible (RED), ya que las plantas absorben fuertemente la luz roja debido a la clorofila utilizada en la fotosíntesis. El NDVI se calcula utilizando la diferencia y la suma de estas dos

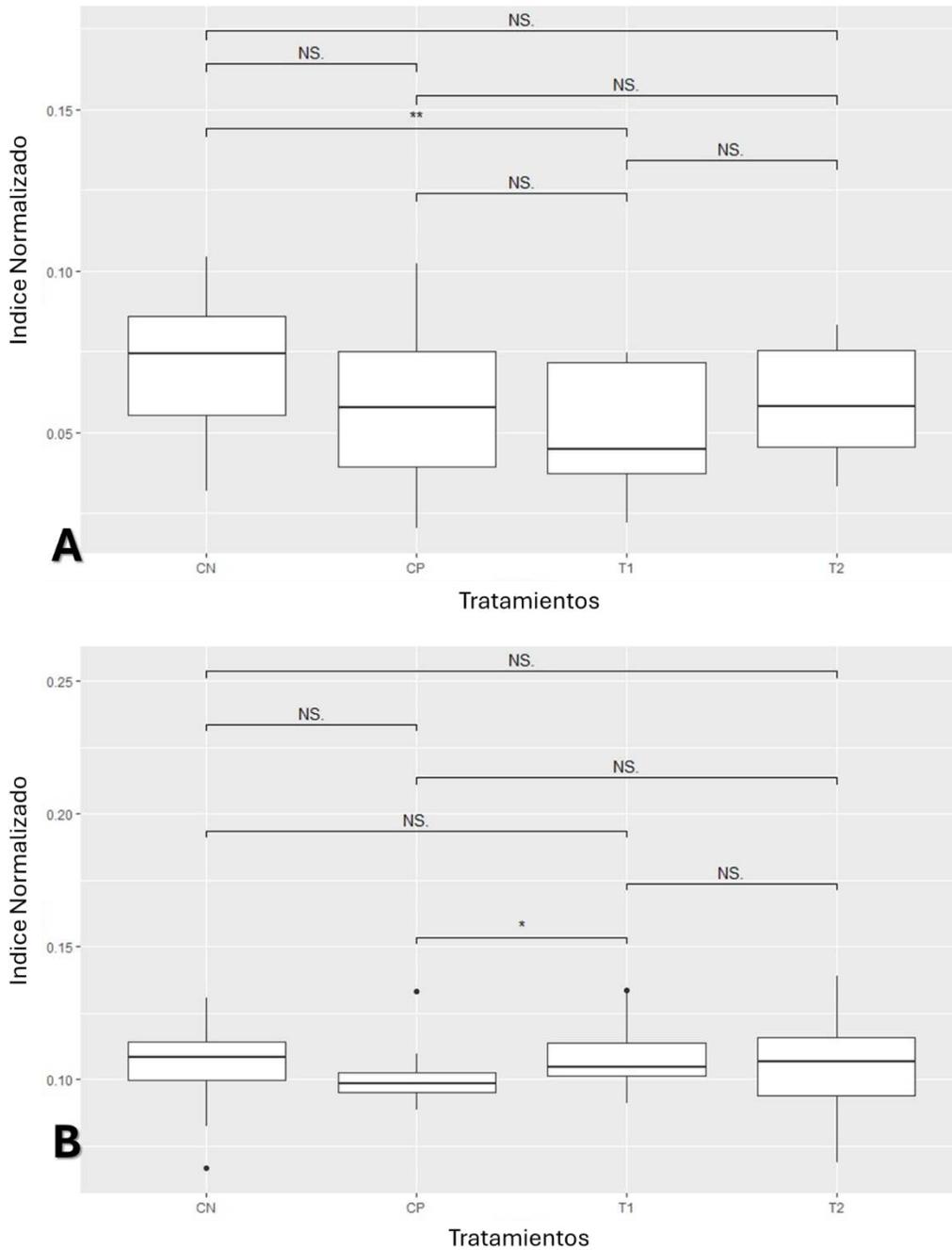


Figura 18 Índice de Vegetación Diferenciado Normalizado entre tratamientos A) al inicio y B) al final de las 216 horas. (Tukey $\alpha=0.01$ (***), $\alpha=0.05$ (**), y $\alpha=0.1$ (*)).

bandas, resultando en valores que varían entre -1 y +1. Valores cercanos a +1 indican vegetación densa y saludable. Los resultados del NDVI de este experimento al inicio y al final se muestran en la **Figura 18** en donde se puede apreciar que los tratamientos al CN y T1 tuvieron diferencias significativas. En este experimento se observó, sin rigurosidad estadística, que las zarzamoras regadas en T2 crecieron de manera semejante a CP. Sin embargo, el NDVI mostró que el CN redujo su variación y se mantuvo en un rango cercano a 0.1 de valor normalizado. El tratamiento CP fue el que mostró mayor homogeneidad igualmente cercano a 0.1, aunque era significativamente diferente del T1, el cual presentó una diferencia positiva. Por otro lado, el T2 mostró una media semejante a T1, pero fue el tratamiento que mostró más variación entre las muestras.

C. Respuesta fisiológica y la inducción de metabolitos especializados

C.1 Bioestimulación y elicitación por riego con agua de pez

Porciones de esta sección han sido publicadas como parte de un artículo titulado “Compuestos Bioactivos de Plantas Medicinales Endémicas (*Cuphea* spp.) Cultivadas en Sistemas de Acuaponía: Un Estudio Breve” (título original en inglés: “*Bioactive Compounds of Endemic Medicinal Plants (Cuphea spp.) Cultured in Aquaponic Systems: A Short Study*”), escrito por Flores-Aguilar, P.S.; Rico-Chávez, A.K.; Rodríguez-deLeón, E.; Aguirre-Becerra, H.; Zamora-Castro, S.A.; y Soto-Zarazúa, G.M.; a través de la revista *Agriculture en 2023*, volumen 13, artículo 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture13102018> (**Apéndice B. 3**).

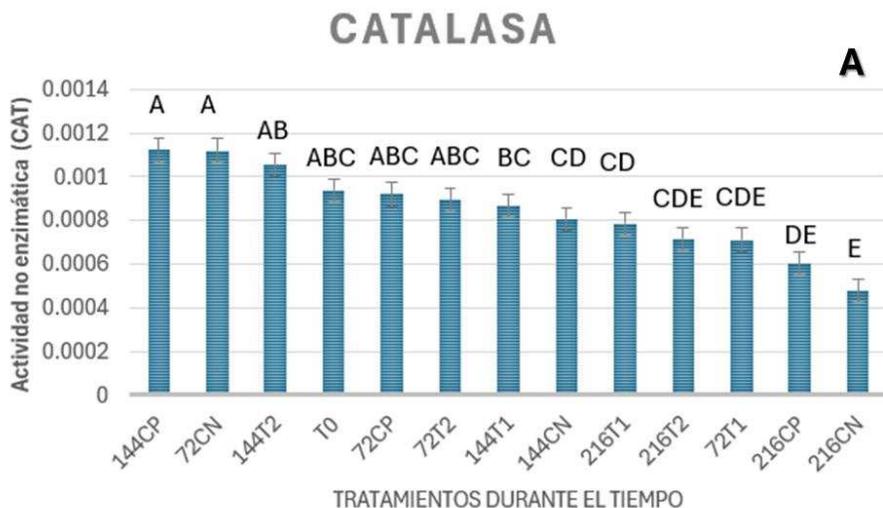
Respecto a la nutrición proporcionada a las zarzamoras, la **Tabla 4** indica las variables de pH, conductividad eléctrica (CON) y sólidos disueltos que cada tratamiento contuvo durante todo el experimento. Con relación a la variable de conductividad eléctrica, en este experimento, no se encontraron diferencias significativas pues todos los tratamientos se igualaron en el pH. No sucediendo así en el caso de lo reportado por Delaide et al., (2019) donde sí encontraron diferencias significativas en el su tratamiento con AEO semejante al tratamiento T1 de este experimento. Se decidió igualar el pH en los tratamientos es que ya se ha reportado que la absorción de nutrientes no es la apropiada en las plantas que son regadas

con AOE y esto podría causar interferencias en la absorción adecuada en las zarcamoras. Además, el pH se llevó al valor sugerido por literatura como preferente por la zarcamora.

Tabla 4. *Nutrición durante 216 horas, utilizando dos tratamientos T1 y T2 con Agua Orgánicamente Enriquecida (AOE) para tilapia, y dos controles, uno negativo (CN) y otro positivo (CP). T1 contiene solo el AOE previamente caracterizado, mientras que a T2 se le añadió la nutrición utilizada en CP. CN contiene únicamente agua de pozo previamente caracterizada más ácido sulfúrico para unificar el pH entre los tratamientos.*

Nutrición T0-216h						
Tratamiento	pH	CON (mS/cm)	Sólidos. Disueltos (ppm)	H ₂ SO ₄ ml	Ca ₂ (CO ₃) ₂ g/Semana	Fertilizante 12-43-12 g/semana
T1	5.9	0.5	356	70	NA	NA
CP	5.8	0.79	568	97	114	140
T2	5.8	0.82	587	70	114	140
CN	5.9	0.49	354	70	NA	NA

Los resultados de la actividad enzimática de la catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD), el contenido de fenoles y flavonoides en las hojas se muestran en la **Figura 19 A, B, C y D**, en cuanto a la actividad de fenilalanina amoníaco liasa (PAL) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas por lo que no se muestran.



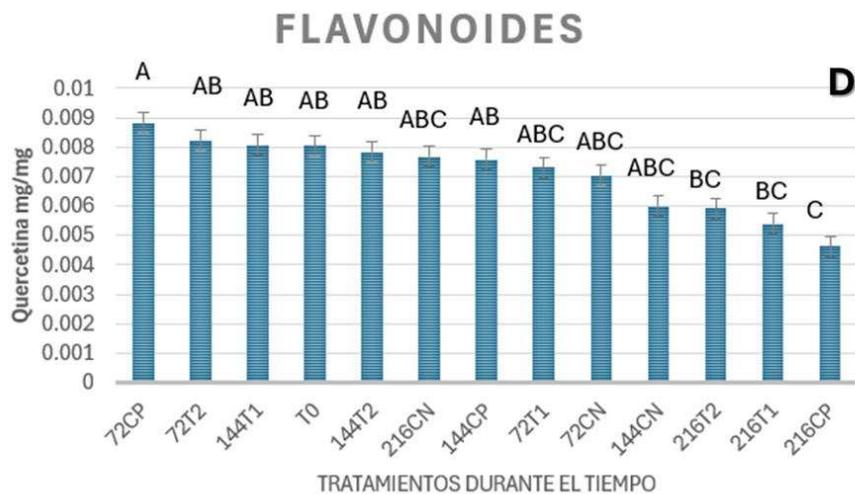
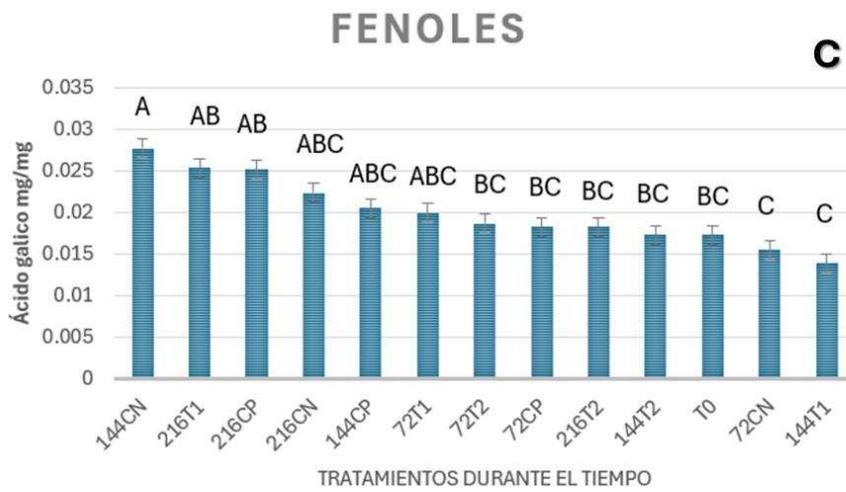
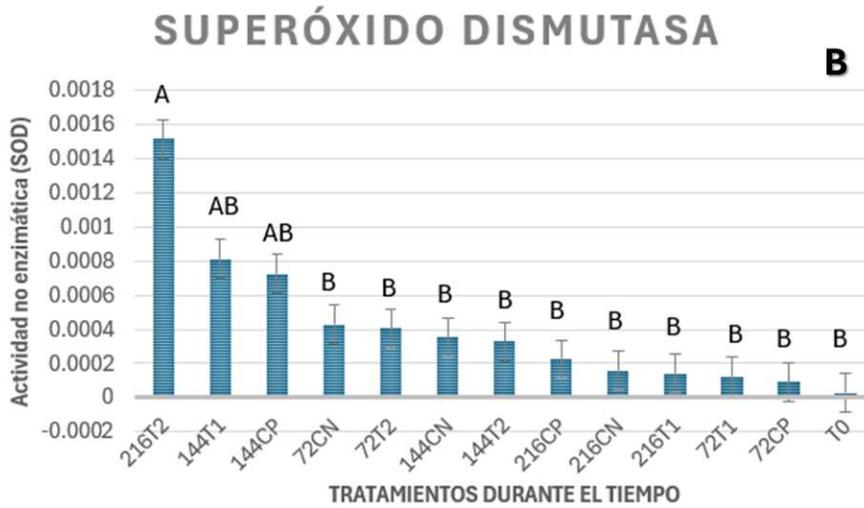


Figura 19 Actividad enzimática de **A)** la Catalasa (CAT), **B)** superóxido dismutasa (SOD), contenido de **C)** fenoles y **D)** flavonoides en las hojas entre los tratamientos y los diferentes tiempos de muestreo. (Tukey $\alpha=0.05$)

Los mejores resultados de un efecto elicitor no pertenecen al mismo tratamiento en el mismo tiempo. En relación con CAT, la mayor actividad se detectó a las 144 horas en el tratamiento CP, con un valor igual al de CN a las 72 horas. Ambos tratamientos mostraron el menor nivel de actividad justo al final, a las 216 horas (**Figura 19A**). En cuanto a la actividad enzimática provocada por SOD, los resultados más altos se observaron en el tratamiento T2 a las 216 horas, pero también se registró una actividad muy cercana en T1 y CP a las 144 horas (**Figura 19B**). Para el contenido de fenoles, la mayor producción en tejido se detectó a las 144 horas en el tratamiento CN, seguido por T1 y CP al final del tiempo (**Figura 19C**). Por último, la mayor cantidad de flavonoides se produjo a las 72 horas en el control positivo (**Figura 19D**).

La actividad enzimática CAT, SOD y PAL y el contenido de fenoles y flavonoides en las hojas es crucial para entender cómo las plantas responden al estrés ambiental y cómo regulan su metabolismo secundario. CAT y SOD son enzimas antioxidantes que juegan un papel fundamental en la defensa de las plantas contra el estrés oxidativo. El estrés oxidativo ocurre cuando hay un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad de la planta para detoxificarlas. SOD cataliza la dismutación del radical superóxido (O_2^-) en peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y oxígeno (O_2). Posteriormente, CAT convierte el peróxido de hidrógeno, que es tóxico, en agua (H_2O) y oxígeno (O_2) (Erofeeva, 2022). Lo anterior pudo ocurrir en las plantas, pero no en el mismo tiempo, y tal vez no relacionado directamente con la nutrición sino por el microclima generado. Cabe resaltar que las zarzamoras están tropicalizadas para las zonas del estado de Michoacán y no para el semi-desierto de Amazcala.

La actividad de SOD y CAT puede influir en la concentración de fenoles y flavonoides en las hojas. Estos compuestos son parte del sistema de defensa antioxidante no enzimático de las plantas. Cuando una planta enfrenta estrés, aumenta la producción de ROS, lo que activa SOD y CAT. Al mismo tiempo, la planta puede aumentar la síntesis de fenoles y flavonoides como respuesta defensiva adicional para neutralizar los ROS .

PAL es una enzima clave en la biosíntesis de compuestos fenólicos. Cataliza la conversión de fenilalanina en ácido cinámico, el primer paso en la vía de los

fenilpropanoides que conduce a la producción de una variedad de compuestos fenólicos y flavonoides. Estos compuestos juegan roles importantes en la defensa contra patógenos, en la protección contra la radiación ultravioleta y en la respuesta al estrés (Godínez-Mendoza et al., 2023).

La actividad de PAL suele incrementarse en respuesta al estrés, lo que lleva a un aumento en la producción de fenoles y flavonoides. Estos metabolitos secundarios son importantes no solo por sus propiedades antioxidantes, sino también por su capacidad para reforzar las paredes celulares y actuar como señales en la interacción planta-patógeno. La actividad de las enzimas antioxidantes CAT y SOD y la enzima biosintética PAL está estrechamente relacionada con el contenido de fenoles y flavonoides en las hojas. Bajo condiciones de estrés, la planta aumenta la actividad de SOD y CAT para detoxificar ROS y de PAL para producir más compuestos fenólicos y flavonoides. Esta respuesta integrada ayuda a la planta a protegerse y adaptarse a condiciones adversas, manteniendo su integridad celular y funcionalidad.

El siguiente paso sería, por un lado, monitorear la bioestimulación en los periodos posteriores a las 72 horas, realizando mediciones cada 24 horas. Por otro lado, se deben generar bioestimulaciones periódicas a lo largo de las etapas fenológicas de la zarzamora para analizar si el efecto es menor, igual o mayor que al inicio. Otro factor importante por analizar es según el tipo de sistema integrado, por ejemplo, acuapónico acoplado o desacoplado, y el cultivo de peces de manera semi-intensiva o intensiva.

En este experimento se observó sin rigurosidad estadística que las zarzamoras que crecieron en el agua de pez suplementado (T2) crecieron de manera semejante. El agua de acuicultura contiene una amplia variedad de nutrientes como desechos metabólicos de los peces producidos por la respiración y encontrados en la orina, heces y alimentos disueltos no consumidos, moléculas orgánicas disueltas (MOD) y microorganismos como bacterias, hongos y protozoos (Oladimeji et al., 2020). Esta agua enriquecida orgánicamente (AEO) puede ayudar a activar el metabolismo secundario, las defensas y el crecimiento de las plantas cuando se utiliza como riego, y, en consecuencia, puede aumentar la calidad de las verduras al modificar su perfil fitoquímico (Bartelme et al., 2018; Delaide et al.,

2019). Delaide et al., (2016) ya habían sospechado esto al comparar el crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L. var. Sucline) entre riego con nutrición hidropónica (NH), AEO con tilapia y AEO suplementada para lechuga. Encontraron que la NH y la AEO suplementada tenían un crecimiento semejante, y que ambos tratamientos con AEO mostraban un crecimiento aéreo significativo. Esto es un indicador importante de la salud y vigor de la planta, ya que refleja la biomasa acumulada en las partes que realizan la fotosíntesis y otras funciones vitales. Lo anterior no se observó en este experimento.

Los requerimientos de las plantas varían según su tipo y la etapa de vida de los organismos acuáticos, lo que determina el consumo de alimento y nutrientes generados dentro del sistema, haciéndolo increíblemente específico y complejo. Aún se necesita realizar más análisis en este tipo de trabajos con berries en producción integrada tal y como cuantificar la pérdida de agua por evapotranspiración, el diseño de la construcción de los sistemas protegidos para minimizar este efecto y en el consumo de nitrógeno y fósforo que se aprovechan en estos sistemas integrados (Delaide et al., 2018; Wongkiew et al., 2020).

En este experimento no se consideró medir el crecimiento radicular, ya que este primer acercamiento buscaba comprobar si las zarzamoras, como organismo de requerimientos nutricionales más altos que la lechuga, podían ser cultivadas con AEO. Sin embargo, futuros experimentos deben incluir el análisis de crecimiento y composición radicular, pues en el cultivo sin suelo se suministra constantemente agua y nutrientes a las plantas, lo que facilita su absorción de nutrientes y les permite crecer más rápido. El crecimiento de las raíces en hidroponía es crucial para la absorción intensa y el suministro óptimo de fósforo, lo cual estimula su desarrollo. Se sabe que las raíces retienen casi el 90 por ciento de los metales absorbidos por las plantas, incluyendo hierro, zinc y otros micronutrientes (Senff et al., 2023). El mayor desafío en futuros análisis será encontrar un soporte adecuado para los requerimientos de las berries, de modo que al final de la prueba se puedan pesar sin interferencia del sustrato, que en este caso fue fibra de coco. Esto hace que las raíces se entrelacen con el sustrato, dificultando la medición de las raíces por separado .

El tamaño del sistema, así como el área ocupada por la parte hidropónica,

determinarán la cantidad de agua que pueden evapotranspirar las plantas. También existe una dependencia estacional regional, es decir, se requiere más agua en el sistema debido a una mayor evaporación en estaciones más cálidas y soleadas (Palm et al., 2015). Las condiciones climáticas, especialmente la temperatura del aire y del sustrato y la humedad relativa, influyen significativamente en la absorción de nutrientes. En el caso de este experimento se probó regar 24 macetas de zarzamora. El siguiente paso que se debe hacer es cuantificar la cantidad de plantas que se puede nutrir y modificar el RAS hacia una producción semi e intensivo y analizar el efecto que tiene en la nutrición, elicitación y bioestimulación de estos berries y de su familia.

Según Braglia et al., (2022b) la actividad antioxidante de los cultivos herbales acuapónicos (i.e. *Ocimum basilicum* y *Petroselinum crispum*) fue significativamente mayor que la de los cultivos orgánicos en suelo. (Delgadillo-Díaz et al., 2019) encontró el mismo efecto en la reducción de los síntomas de la pudrición apical (BER); esto se relacionó con los microorganismos y las MOD en el agua que actúan como bioestimulantes en los cultivos. Por lo tanto, el cultivo acuapónico presenta una alternativa a la bioestimulación para mejorar el valor nutricional y la tolerancia al estrés de especies con un alto contenido de compuestos bioactivos.

Los polifenoles en las plantas y su actividad antioxidante son beneficiosos para la salud humana. Sin embargo, en las plantas, estos compuestos forman parte de la respuesta inmune al estrés. Esta observación puede deberse al hecho de que los fenilpropanoides son metabolitos secundarios relacionados con la activación del estrés y la defensa en las plantas (Francini et al., 2019) y se ha demostrado que tienen funciones protectoras contra el estrés oxidativo (Brunetti et al., 2015). El método de cultivo, es decir, la interacción en los SAAI mostró diferencias en la concentración del perfil fitoquímico (fenoles y flavonoides totales) (Khandaker & Kotzen, 2018). Está bien documentado que las plantas que crecen con niveles óptimos de estímulos ambientales son menos propensas a estimular los mecanismos de defensa, como la síntesis de metabolitos secundarios, lo que en última instancia conduce a una pérdida de adaptabilidad (Erofeeva, 2022).

C.2 Beneficios Sostenibles del uso de Sistemas Integrados Agroacuícolas como respuesta de la bioestimulación y elicitación de las aguas acuícolas

Porciones de esta sección han sido publicadas como parte de un artículo titulado "¿Puede la acuaponía ser utilizada para alcanzar el objetivo de Hambre Cero a nivel local? (título original en inglés: "*Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level?*") escrito por Flores-Aguilar, P.S.; Sánchez-Velázquez, J.; Aguirre-Becerra, H.; Peña-Herrejón, G.A.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M.; publicado en la revista *Sustainability* 2024, 16, 1130. <https://doi.org/10.3390/su16031130>. (**Apéndice B.3**)

Si la acuaponía se utilizara de manera más local, se podrían obtener frutas y verduras con la misma cantidad de agua y aproximadamente el mismo rendimiento que la hidroponía, lo cual tendría un impacto directo y positivo en el objetivo 2.1: "Para 2030, poner fin al hambre y asegurar el acceso de todas las personas, en particular los pobres y las personas en situaciones vulnerables, incluidos los lactantes, a una alimentación segura, nutritiva y suficiente durante todo el año". Según Pantanella et al., (2012) 1 kg de peces en 0.3 m³ puede producir 20 cabezas de lechuga romana en un sistema acuapónico acoplado, al igual que su contraparte hidropónica, pero sin necesidad de fertilizantes sintéticos y fuentes de energía adicionales. Además, Suhl et al., (2016) describieron la Eficiencia en el Uso del Agua Dulce para un sistema acuapónico desacoplado, lo que resultó en una producción 270% mayor por cada m³ de agua de acuicultura en comparación con el control hidropónico, más 1.5 kg de tilapia (cero pescados producidos en el control). También, su eficiencia en el uso de fertilizantes fue mayor: las aguas de acuicultura se complementaron con solo un kilogramo de fertilizante en comparación con el control.

Otros estudios informaron una capacidad antioxidante significativamente mayor en los tomates cultivados en un sistema acuapónico (2,048.08 µM TEAC/100 g dm) que, en suelo orgánico, independientemente de si el genotipo era comercial o silvestre (Delgadillo-Díaz et al., 2019). Las plantas cultivadas en acuaponía muestran un comportamiento único y muestran un aumento en la producción de compuestos bioactivos. Este fenómeno se atribuye a una amplia gama de moléculas

orgánicas disueltas producidas por el metabolismo de los peces, como heces, orina y respiración, junto con la presencia de microorganismos en el agua. Esto conduce a la formación de AEO, que actúan como potentes biostimulantes y elicitores para los cultivos (Godínez-Mendoza et al., 2023)]. La AEO, de manera general, está compuesta por bacterias, hongos y protozoos. Contiene un mínimo de 13 nutrientes, incluidos NH_4 , NO_3 , PO_4 , SO_4 , K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, Bo y Mo, que están presentes en diversas proporciones. Estos nutrientes pueden proporcionar al menos el 50% de las necesidades nutricionales de los cultivos. En consecuencia, las plantas y frutas cultivadas con OEW pueden ser más robustas y nutritivas (Rakocy et al., 2007)

La acuaponía es un método ideal para producir verduras de hoja debido a sus bajos requerimientos nutricionales y cortos ciclos de cultivo. Por otro lado, se ha demostrado que consumir frutas y verduras crudas, en lugar de procesadas, está vinculado a una mejor salud mental y a menores tasas de depresión, estrés y estado de ánimo negativo (Brookie et al., 2018). Este primer acercamiento de producción de berries con agua orgánica enriquecida (AOE) de tilapia juvenil en domos geodésicos en zonas semidesérticas promueve la bioestimulación y la elicitación durante periodos específicos de su etapa fenológica vegetativa. Esto activa las vías del metabolismo secundario en las plantas, mejorando las variables fenotípicas (crecimiento y desarrollo) y/o activando la inmunidad garantizando esto una fruta con mejor contenido nutricional. Los estudios futuros podrían comparar diferentes escalas de unidades hidropónicas, probar varios sustratos inertes y analizar las aguas resultantes de la tilapia en diferentes etapas de crecimiento. Es crucial realizar estudios adicionales sobre los efectos elicitores y bioestimulantes de las AOE y analizar las actividades de enzimas relacionadas con las respuestas al estrés, como la superóxido dismutasa, la catalasa y la fenilalanina amoníaco-liasa, en diferentes etapas fenológicas de la planta durante periodos cortos de estimulación y en ciclos completos para confirmar si el uso de los sistemas integrados agro-acuícolas causa eustrés o distrés.

C.3 Perspectivas del uso de Sistemas Integrados Agro-Acuícolas como sistemas de producción de alimentos sostenibles

Se sabe que los Sistemas Acuapónicos Integrados Agro-acuícolas (SAAI), en especial la acuaponía, impactan directa y positivamente en algunos objetivos de la agenda 2030, como ODS2-hambre cero, ODS3-salud y bienestar, y ODS13-acción por el clima, ya que aumentan la productividad y la diversificación de proteínas, y disminuyen el desperdicio de nutrientes y agua, haciéndolos adecuados para zonas semidesérticas. Estos sistemas innovadores integran múltiples especies, permitiendo producir alimentos de alta calidad y nutritivos, mejorando así la seguridad alimentaria. Consumir vegetales y proteínas animales ricos en vitaminas, minerales y grasas saludables puede promover el bienestar físico y mental, reducir el estrés y prevenir enfermedades.

En regiones con climas tropicales, áridos o semiáridos, no es necesario utilizar sistemas costosos de calefacción ni invernaderos de alta tecnología tal y como sucedió en este experimento, donde se pudo mantener la temperatura de los estanques en un rango adecuado, pero se tuvo que usar mallasombra para la parte de las zarcamoras. Por lo tanto, es importante seleccionar cuidadosamente el tipo de sistema. Antes de establecer un sistema acuapónico, es importante considerar todos los elementos de ingeniería necesarios, incluidos tuberías, bombas, biofiltros y filtración mecánica. Al participar en el cultivo, es importante considerar diversos factores como la disponibilidad y asequibilidad de insumos, ubicación, clima, acceso al agua, calidad química y otros (Somerville, 2014). Es necesario tener en cuenta las variaciones estacionales al seleccionar las especies acuáticas y vegetales a cultivar. Se debe mantener un equilibrio adecuado entre peces y cultivos (Knaus & Palm, 2017).

También, a fin resaltar los impactos locales de este tipo de sistemas, la **Tabla 5** proporciona un resumen de los beneficios de utilizar sistemas integrados enfocados en alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2 de Hambre Cero (2.1, 2.2 y 2.3) a nivel local. Estos beneficios se basan en los recientes hallazgos de sostenibilidad de la acuaponía, que König et al., (2018) identificaron en las siguientes áreas: eficiencia hídrica, eficiencia de nutrientes, eficiencia energética, ciclos cerrados, producción descentralizada y mercado local, empleo, rentabilidad, seguridad alimentaria, desarrollo urbano y cohesión social, frescura,

diversificación de la dieta y soberanía alimentaria, y educación.

Tabla 5. Posibles resultados sostenibles de la acuaponía como sistema integrado agro-acuícola y su evidencia mundial a lo largo del tiempo. Elaboración propia basada en (König et al., 2018).

Posibles resultados de sostenibilidad de la acuaponía	Evidencia	Referencia
Eficiencia hídrica	<p>La acuaponía proporciona a los cultivos la mayoría (> el 50 %) de los nutrientes.</p> <p>La eficiencia en el uso del agua dulce (FWUE) para un tomate tilapia acuapónico fue de 13,05 kg planta⁻¹ (es decir, 1.55 kg de pescado más 46.1 kg de tomate por agua residual fresca utilizada).</p> <p>La producción de 1 kg de peces por acuaponía requiere solo 0.32 m³ de agua dulce.</p> <p>La producción pesquera es la huella hídrica más baja de la producción de proteína animal, con 400 L por kg.</p>	<p>(Palm et al., 2018)</p> <p>(Suhl et al., 2016)</p> <p>(Al-Hafedh et al., 2008)</p> <p>(Joyce et al., 2019)</p>
Eficiencia de nutrientes	<p>La Eficiencia en el Uso de Fertilizantes (FUE) en tilapia-tomate es de 54.0 kg^{kg⁻¹}</p> <p>Se encontraron al menos 13 nutrientes en las aguas residuales de la acuicultura: NH₄, NO₃, PO₄, SO₄, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, Bo y Mo.</p> <p>Dependiendo de la especie, el pez retiene el 20-50% de N y el 15-65% de P y excreta el 30-65% de N y el 40% de P.</p> <p>La asimilación total de la biomasa mediante acuaponía es mayor, 30-41%, que en hidroponía con 14-24%.</p>	<p>(Suhl et al., 2016)</p> <p>(Rakocy et al., 2007)</p> <p>(Schneider et al., 2005)</p> <p>(Yang & Kim, 2020a)</p>
Eficiencia energética	<p>Fácilmente adaptable para utilizar fuentes de energía alternativas.</p> <p>La digestión efectiva de los lodos de las aguas residuales de los peces puede producir biogás compuesto por ≈ 59% de metano, ≈ 39% de CO₂ y otra fracción importante de sulfuro de hidrógeno.</p> <p>Los sistemas acuapónicos pueden diseñarse para funcionar por gravedad, lo que reduce los costos de energía.</p>	<p>(Karimanzira & Rauschenbach, 2018)</p> <p>(Zhu et al., 2021)</p> <p>(Rakocy et al., 2016)</p>
Ciclos cerrados	<p>Los sistemas acuapónicos acoplados (de un bucle) son considerablemente más eficientes en el uso del agua y la producción de proteínas.</p> <p>Una evaluación del ciclo de vida en el uso de sistemas acuapónicos acoplados a tilapia-lechuga durante diez años muestra un 80-88% menos de daño asociado con la salud humana, un 49-75% menos de daño a los ecosistemas y un 47-50% menos de daño a los recursos en comparación con los métodos de cultivo</p>	<p>(Graber & Junge, 2009)</p> <p>(Cohen et al., 2018)</p>

	convencionales.	
	Los sistemas acuapónicos desacoplados mostraron un 36% más de rendimiento.	(Kloas et al., 2016)
Producción descentralizada y mercado local	Se puede aplicar en climas tropicales, zonas áridas, semiáridas o durante períodos fríos muy largos.	(Goddard & Al-Abri, 2019; Knaus & Palm, 2017; Rakocy et al., 2003)
Empleo	La acuaponía pretende ser una extensión de las prácticas acuícolas, incluyendo el 14% de participación de las mujeres, el 19% en la acuicultura y el 12% en las prácticas pesqueras. El número de latinoamericanos que se dedican a actividades pesqueras y acuícolas es del 4 por ciento.	(FAO, 2022) FAO, 2020
Rentabilidad	Un sistema acuapónico en el patio trasero puede generar una ganancia de 330 USD. Las hierbas culinarias son una excelente opción para el crecimiento en acuaponía, con rentabilidad dependiendo de la demanda. Se pueden introducir peces ornamentales y se garantiza la trazabilidad en la producción.	(Iriarte-Rodríguez et al., 2017) (Rakocy et al., 2016) (Oniga et al., 2018)
Seguridad Alimentaria	El pescado, producido principalmente por acuaponía, es rico en B12, lisina, leucina y valina. Las verduras de hoja verde se producen fácilmente en sistemas acuapónicos y son ricas en ácido ascórbico, betacaroteno, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, K y Zn. La tecnología, desde la alta tecnología hasta la de baja tecnología, se adapta fácilmente a todos los niveles de producción y puede ser gestionada por personas con formación básica hasta expertos en cultivo.	(Watanabe, 2016) (Moyo et al., 2020) (Somerville, 2014)
Desarrollo Urbano y Cohesión Social	La acuaponía se puede implementar a pequeña escala o comercial; en edificios abandonados, azoteas, patios traseros o huertos urbanos, teniendo en cuenta las necesidades de materiales y electricidad de la estructura. Las paredes vivas y otros diseños acuapónicos contribuyen al secuestro térmico y de carbono, la regulación del microclima o la mejora del paisaje. En un patio trasero se puede obtener pescado fresco (62 kg) y diversas especies vegetales (352 kg) en 32 m ² , lo que corresponde al 155 y 129 % de las necesidades anuales de pescado y verduras para una familia de 4 personas. La infraestructura verde, como la acuaponía, aumenta la resiliencia urbana y el bienestar social y mitiga el	(David et al., 2022) (Charoenkit & Yiemwattana, 2017; Khandaker & Kotzen, 2018) (Suárez-Cáceres et al., 2021) (Baganz et al., 2020; Ugolini et al., 2020)

impacto posterior a la pandemia.

Frescura, diversificación de la dieta y soberanía alimentaria	Especies mejor producidas por la acuicultura: tilapia, africana, plateada, bagre de canal, anguila, trucha, rodaballo, lubina, lenguado, perca, camarón común, camarón de patas blancas, cangrejo de río, langostinos de agua dulce, camarón de Malasia, tilapia azul y del Nilo, lucioperca europea y tenca. Las especies vegetales que mejor se adaptan a la acuaponía son las espinacas, la col rizada, la albahaca, la lechuga, el tomate, la coliflor, las acelgas, el repollo, el brócoli y el pimiento.	(Oniga et al., 2018) (Lennard & Goddek, 2019; Yang & Kim, 2019)
Educación	Un sistema microacuapónico de 1,5 m2 puede imitar un sistema a escala real de >50 m2 y establecerse en un aula para 25 estudiantes. Con un sistema acuapónico en un aula, más profesores y estudiantes se interesaron más por la sostenibilidad. Los maestros de matemáticas y ciencias involucraron a sus estudiantes en los temas, y los estudiantes, sus familias y amigos promovieron el uso de la acuaponía.	(Maucieri et al., 2018) (Clayborn et al., 2017)

Por último, el **Apéndice B** recopila todos los productos obtenidos durante el periodo de este trabajo doctoral y se divide en 3 áreas: 1) Artículos como primer autor y colaborador; 2) Participaciones Nacionales y 3) Participaciones internacionales.

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten aceptar la hipótesis planteada, la cual afirmaba que *la zarzamora (Rubus ulmifolius) cv Tupy cultivada mediante un Sistema Integrado Agro-Acuícola (SAAI) modificará significativa y positivamente el crecimiento, desarrollo y calidad del fruto debido a la bioestimulación generada por el agua residual acuícola comparado con un sistema hidropónico*. Esta investigación indica que la zarzamora cv. Tupy cultivada en un SAAI presenta un crecimiento y desarrollo similar al del sistema hidropónico. Aunque no se observó un crecimiento foliar significativamente mayor durante el tiempo del experimento, el agua residual acuícola, rica en nutrientes y microorganismos, mostró potencial para activar el metabolismo secundario y las defensas de las plantas. Esto sugiere que el SAAI puede influir positivamente en la calidad del fruto al modificar su perfil fitoquímico, especialmente en términos de fenoles y flavonoides, que son compuestos importantes para la defensa antioxidante. Además, estas aguas pueden utilizarse en ciertos períodos del crecimiento generativo y vegetativo de las plantas, lo que reflejaría un ahorro de nutrientes y de agua al reutilizar los efluentes de la acuicultura. Esto contribuiría a una producción de alimentos sostenible, impactando directa y positivamente en al menos tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030: ODS 2 - Hambre Cero, ODS 3 - Salud y Bienestar, y ODS 13 - Acción por el Clima.

Los resultados del efecto elicitor y bioestimulante del agua acuícola varían según el tratamiento y el tiempo. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la actividad de PAL, la mayor actividad de la enzima CAT se observó a las 144 horas en el tratamiento CP, mientras que la mayor actividad de SOD se detectó en T2 a las 216 horas. El contenido de fenoles fue más alto a las 144 horas en el tratamiento CN, y la producción de flavonoides fue máxima a las 72 horas en el control positivo. Estas enzimas y compuestos fenólicos son cruciales en la respuesta de las plantas al estrés oxidativo. SOD y CAT ayudan a eliminar especies reactivas de oxígeno, mientras que PAL, una enzima clave en la biosíntesis de

compuestos fenólicos, incrementa la producción de fenoles y flavonoides bajo estrés. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para optimizar las condiciones de cultivo y comprender mejor los efectos de estos tratamientos en las zarzamoras y otros cultivos con requerimientos nutricionales altos. Se identifican áreas clave para futuros estudios, incluyendo la necesidad de monitorear bioestimulación a lo largo del tiempo de cultivo, el análisis del crecimiento radicular y la eficiencia en el uso de nutrientes.

A partir de las primeras investigaciones sobre el cultivo de zarzamoras (*Rubus ulmifolius*) cv Tupy en SAAI, se pueden abrir varias líneas de investigación interesantes, e.g. Investigar diferentes configuraciones y manejos del SAAI para maximizar la eficiencia en el uso de agua y nutrientes; Analizar los efectos a largo plazo del riego con agua residual acuícola en la calidad y perfil fitoquímico de los frutos; Estudiar la capacidad de estos sistemas para reducir la contaminación del agua y mejorar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas; Analizar si los beneficios observados en las zarzamoras pueden ser replicados en otros cultivos de alto valor comercial; Desarrollar y probar tecnologías de monitoreo en tiempo real para optimizar el manejo del agua y nutrientes en los SAAI; e Investigar el uso de inteligencia artificial y sensores para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas.

Bibliografía

- Aebi, H. (1984). [13] Catalase in vitro. En *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121–126). Elsevier.
- Aguirre-Becerra, H., Pineda-Nieto, S. A., García-Trejo, J. F., Guevara-González, R. G., Feregrino-Pérez, A. A., Álvarez-Mayorga, B. L., & Rivera Pastrana, D. M. (2020). Jacaranda flower (*Jacaranda mimosifolia*) as an alternative for antioxidant and antimicrobial use. *Heliyon*, *6*(12), e05802. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E05802>
- Al-Hafedh, Y. S., Alam, A., & Beltagi, M. S. (2008). Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the World Aquaculture Society*, *39*(4), 510–520. <https://doi.org/10.1111/J.1749-7345.2008.00181.X>
- Armanda, D. T., Guinée, J. B., & Tukker, A. (2019). The second green revolution: Innovative urban agriculture's contribution to food security and sustainability – A review. En *Global Food Security* (Vol. 22, pp. 13–24). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.08.002>
- Baganz, G., Baganz, D., Kloas, W., & Lohrberg, F. (2020). Urban Planning and Corona Spaces–Scales, Walls and COVID-19 Coincidences. *REAL CORP*.
- Baganz, G., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., Staaks, G., Shaw, C., Lohrberg, F., & Kloas, W. (2021). The aquaponic principle—It is all about coupling. En *Reviews in Aquaculture*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>
- Barbosa, G. L., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., & Halden, R. U. (2015). Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health* *2015*, Vol. 12, Pages 6879–6891, *12*(6), 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/IJERPH120606879>
- Bartelme, R. P., Oyserman, B. O., Blom, J. E., Sepulveda-Villet, O. J., & Newton, R. J. (2018). Stripping away the soil: Plant growth promoting microbiology opportunities in aquaponics. *Frontiers in Microbiology*, *9*(JAN), 8. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2018.00008/BIBTEX>
- Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical biochemistry*, *44*(1), 276–287.
- Benedict, R. C. (1939). The First Experiment in Plant Physiology. En *New Series* (Vol. 89, Número 2314).
- Bernal Estrada, J. A., & Franco, G. (2008). Agronomía del cultivo de la mora de castilla. *J. López González, & R. Gómez Santos, Tecnología para la producción de frutales de clima frío moderado Manual Técnico (págs. 10-23). Rionegro: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, 9.*
- 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*(1–2), 248–254.
- Braglia, R., Costa, P., Di Marco, G., D'Agostino, A., Redi, E. L., Scuderi, F., Gismondi, A., & Canini, A. (2022a). Phytochemicals and quality level of food plants grown in an aquaponics system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(2), 844–850. <https://doi.org/10.1002/JSFA.11420>
- Braglia, R., Costa, P., Di Marco, G., D'Agostino, A., Redi, E. L., Scuderi, F., Gismondi, A., & Canini, A. (2022b). Phytochemicals and quality level of food plants grown in an aquaponics system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(2), 844–850. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11420>
- Brookie, K. L., Best, G. I., & Conner, T. S. (2018). Intake of raw fruits and vegetables is associated with better mental health than intake of processed fruits and vegetables.

- Frontiers in Psychology*, 9(APR), 339425.
<https://doi.org/10.3389/FPSYG.2018.00487/BIBTEX>
- Brunetti, C., Guidi, L., Sebastiani, F., & Tattini, M. (2015). Isoprenoids and phenylpropanoids are key components of the antioxidant defense system of plants facing severe excess light stress. *Environmental and Experimental Botany*, 119, 54–62.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2015.04.007>
- Cardona, W. A. (2019). Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada. *Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada*.
<https://doi.org/10.21930/AGROSAVIA.MANUAL-18>
- Charoenkit, S., & Yiemwattana, S. (2017). Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate. *Building and Environment*, 115, 67–79. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.01.017>
- Clayborn, J., Medina, M., & O'Brien, G. (2017). School gardening with a twist using fish: Encouraging educators to adopt aquaponics in the classroom. <http://dx.doi.org/10.1080/1533015X.2017.1304837>, 16(2), 93–104.
<https://doi.org/10.1080/1533015X.2017.1304837>
- Cohen, A., Malone, S., Morris, Z., Weissburg, M., & Bras, B. (2018). Combined Fish and Lettuce Cultivation: An Aquaponics Life Cycle Assessment. *Procedia CIRP*, 69, 551–556.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.029>
- David, L. H., Pinho, S. M., Agostinho, F., Costa, J. I., Portella, M. C., Keesman, K. J., & Garcia, F. (2022). Sustainability of urban aquaponics farms: An emergy point of view. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129896. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129896>
- Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. H. (2016). Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) Growth Performance in Complemented Aquaponic Solution Outperforms Hydroponics. *Water 2016, Vol. 8, Page 467*, 8(10), 467.
<https://doi.org/10.3390/W8100467>
- Delaide, B., Goddek, S., Keesman, K. J., Haissam, M., & Jijakli, M. (2018). B A S E A methodology to quantify the aerobic and anaerobic sludge digestion performance for nutrient recycling in aquaponics. En *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* (Vol. 22).
- Delaide, B., Teerlinck, S., Decombel, A., & Bleyaert, P. (2019). Effect of wastewater from a pikeperch (*Sander lucioperca* L.) recirculated aquaculture system on hydroponic tomato production and quality. *Agricultural Water Management*, 226.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105814>
- Delgadillo-Díaz, M., Gullian-Klanian, M., Sosa-Moguel, O., Sauri-Duch, E., & Cuevas-Glory, L. F. (2019). Evaluation of Physico-chemical Characteristics, Antioxidant Compounds and Antioxidant Capacity in Creole Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L. and *S. pimpinellifolium* L.) in an Aquaponic System or Organic Soil. *International Journal of Vegetable Science*, 25(2), 124–137. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1487496>
- Dickerson, D. P., Pascholati, S. F., Hagerman, A. E., Butler, L. G., & Nicholson, R. L. (1984). Phenylalanine ammonia-lyase and hydroxycinnamate: CoA ligase in maize mesocotyls inoculated with *Helminthosporium maydis* or *Helminthosporium carbonum*. *Physiological plant pathology*, 25(2), 111–123.
- Eck, M., Körner, O., & Jijakli, M. H. (2019). Nutrient Cycling in Aquaponics Systems. *Aquaponics Food Production Systems*, 231–246. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_9
- Erofeeva, E. A. (2022). Environmental hormesis of non-specific and specific adaptive mechanisms in plants. *Science of The Total Environment*, 804, 150059.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.150059>

- Espinal, C. A., & Matulić, D. (2019). Recirculating Aquaculture Technologies. *Aquaponics Food Production Systems*, 35–76. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_3
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/CC0461EN>
- Fernández-Cabanás, V. M., Pérez-Urrestarazu, L., Juárez, A., Kaufman, N. T., & Gross, J. A. (2020). Comparative analysis of horizontal and vertical decoupled aquaponic systems for basil production and effect of light supplementation by LED. *Agronomy*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy10091414>
- Ferreira, F. S., de Oliveira, V. S., Chávez, D. W. H., Chaves, D. S., Riger, C. J., Sawaya, A. C. H. F., Guizzellini, G. M., Sampaio, G. R., Torres, E. A. F. da S., & Saldanha, T. (2022). Bioactive compounds of parsley (*Petroselinum crispum*), chives (*Allium schoenoprasum* L) and their mixture (Brazilian cheiro-verde) as promising antioxidant and anti-cholesterol oxidation agents in a food system. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 151. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110864>
- Fitzsimons. (2000). *Tilapia aquaculture in Mexico*.
- Flores-Aguilar, P. S., Rico-Chávez, A. K., Rodríguez-deLeón, E., Aguirre-Becerra, H., Zamora-Castro, S. A., & Soto-Zarazúa, G. M. (2023). Bioactive Compounds of Endemic Medicinal Plants (*Cuphea* spp.) Cultured in Aquaponic Systems: A Short Study. *Agriculture (Switzerland)*, 13(10), 2018. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE13102018/S1>
- Flores-Aguilar, P. S., Sánchez-Velázquez, J., Aguirre-Becerra, H., Peña-Herrejón, G. A., Zamora-Castro, S. A., & Soto-Zarazúa, G. M. (2024). Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level? *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 1130*, 16(3), 1130. <https://doi.org/10.3390/SU16031130>
- Francini, A., Giro, A., & Ferrante, A. (2019). Biochemical and Molecular Regulation of Phenylpropanoids Pathway Under Abiotic Stresses. *Plant Signaling Molecules: Role and Regulation under Stressful Environments*, 183–192. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00011-3>
- Frassine, D., Braglia, R., Scuderi, F., Redi, E. L., Gismondi, A., Di Marco, G., Rugnini, L., & Canini, A. (2023). Sustainability in Aquaponics: Industrial Spirulina Waste as a Biofertilizer for *Lactuca sativa* L. Plants. *Plants 2023, Vol. 12, Page 4030*, 12(23), 4030. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12234030>
- Fuentes-Silva, C., Soto-Zarazúa, G. M., Torres-Pacheco, I., & Flores-Rangel, A. (2013). Male tilapia production techniques: A mini-review. *African journal of Biotechnology*, 12(36).
- Gavine, F., & Gooley, G. (2003). Resources, Systems and Species for Australian Integrated Agri-Aquaculture Systems. *Simon Hearn*, 37.
- Gillespie, D. P., Kubota, C., & Miller, S. A. (2020). Effects of Low pH of Hydroponic Nutrient Solution on Plant Growth, Nutrient Uptake, and Root Rot Disease Incidence of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *HortScience*, 55(8), 1251–1258. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14986-20>
- Goddard, S., & Al-Abri, F. S. (2019). Integrated aquaculture in arid environments. *Journal of Agricultural and Marine Sciences [JAMS]*, 23(1), 52. <https://doi.org/10.24200/jams.vol23iss1pp52-57>
- Goddek, S., Espinal, C. A., Delaide, B., Jijakli, M. H., Schmutz, Z., Wuertz, S., & Keesman, K. J. (2016). Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach. *Water (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/W8070303>
- Goddek, S., & Körner, O. (2019). A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: A case study for system sizing in different environments. *Agricultural Systems*, 171, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.01.010>
- Goddek, S., & Vermeulen, T. (2018). Comparison of *Lactuca sativa* growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. *Aquaculture International*, 26(6),

- 1377–1386. <https://doi.org/10.1007/S10499-018-0293-8/FIGURES/6>
- Godínez-Mendoza, P. L., Rico-Chávez, A. K., Ferrusquía-Jimenez, N. I., Carbajal-Valenzuela, I. A., Villagómez-Aranda, A. L., Torres-Pacheco, I., & Guevara-González, R. G. (2023). Plant hormesis: Revising of the concepts of biostimulation, elicitation and their application in a sustainable agricultural production. *Science of The Total Environment*, *894*, 164883. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164883>
- González-Jiménez, S. L., Castillo-González, A. M., García-Mateos, M. del R., Avitia-García, y. E., Valdez-Aguilar, L. A., & Ybarra-Moncada, C. (2020). Respuesta de zarzamora (*Rubus* spp.) cv. Tupy a la salinidad. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *43*(3), 299–299. <https://doi.org/10.35196/RFM.2020.3.299>
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, *246*(1–3), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>
- Groenveld, T., Kohn, Y. Y., Gross, A., & Lazarovitch, N. (2019). Optimization of nitrogen use efficiency by means of fertigation management in an integrated aquaculture-agriculture system. *Journal of Cleaner Production*, *212*, 401–408. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.031>
- Grupo INTAGRI. (2016). *Manejo y Producción Forzada del Cultivo de Zarzamora*. <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/manejo-y-produccion-forzada-del-cultivo-de-zarzamora>
- Grupo INTAGRI. (2021). *Artículos - FERTILAB*. <https://www.fertilab.com.mx/Articulos>
- Hanson, E., Morrone, V., & Isaacs, R. (2014). *Organic Raspberry Production in Three-Season High Tunnels*.
- Hawkesford, M. J., Cakmak, I., Coskun, D., De Kok, L. J., Lambers, H., Schjoerring, J. K., & White, P. J. (2023). Functions of macronutrients. *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, 201–281. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00019-8>
- Hernández, M. V., & Jiménez, N. I. F. (2022). Introducción a la teoría del estrés e inmunología vegetal. *Manejo del estrés vegetal como una estrategia para una agricultura sostenible*, 53–102.
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1938). Growing plants without soil by the water-culture method. *Growing plants without soil by the water-culture method*.
- Huynh, N. K., Wilson, M. D., Eyles, A., & Stanley, R. A. (2019). Recent advances in postharvest technologies to extend the shelf life of blueberries (*Vaccinium* sp.), raspberries (*Rubus idaeus* L.) and blackberries (*Rubus* sp.). *Journal of Berry Research*, *9*(4), 687–707. <https://doi.org/10.3233/JBR-190421>
- Iriarte-Rodríguez, F., Mendoza-Carranza, M., Gómez Álvarez, R., Cornelis Van Der Wal, J., Alicia, M., & García, P. (2017). *Viabilidad técnica-financiera de un Sistema Acuapónico de Baja Intensidad (SABI) para la seguridad alimentaria familiar*.
- Joyce, A., Goddek, S., Kotzen, B., & Wuertz, S. (2019). Aquaponics: Closing the Cycle on Limited Water, Land and Nutrient Resources. *Aquaponics Food Production Systems*, 19–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_2
- Karalija, E., Zeljković, S. Č., & Parić, A. (2020). Harvest time–related changes in biomass, phenolics and antioxidant potential in *Knautia sarajevensis* shoot cultures after elicitation with salicylic acid and yeast. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, *56*(2), 177–183. <https://doi.org/10.1007/S11627-019-10028-0/METRICS>
- Karimanzira, D., Keesman, K. J., Kloas, W., Baganz, D., & Rauschenbach, T. (2016). Dynamic modeling of the INAPRO aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, *75*, 29–45. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.10.004>
- Karimanzira, D., & Rauschenbach, T. (2018). Optimal Utilization of Renewable Energy in Aquaponic Systems. *Energy and Power Engineering*, *10*(06), 279–300.

- <https://doi.org/10.4236/epe.2018.106018>
- Khandaker, M., & Kotzen, B. (2018). The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates. *Aquaculture Research*, 49(4), 1454–1468. <https://doi.org/10.1111/ARE.13601>
- Kloas, W., Wuertz, S., & Monsees, H. (2016). *Comparisson of coupled and decoupled aquaponics-Implications for future system design*. <https://www.researchgate.net/publication/314305063>
- Knaus, U., & Palm, H. (2017). Effects of the fish species choice on vegetables in aquaponics under spring-summer conditions in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, 473, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.020>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>
- Kubitza, F. (2019). *Advances in Tilapia Nutrition, Part 1-Performance, immunity and flesh quality*. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/advances-in-tilapia-nutrition-part-1/?headlessPrint=AAAAPIA9c8r7gs82oWZBA>
- Kuo, C. H., Xu, Z. Y., Hsiao, P. Z., Liao, P. C., Liu, C. H., Hong, M. C., & Chiu, K. (2024). Utilizing fish wastewater in aquaponic systems to enhance anti-inflammatory and antioxidant bioactive compounds in *Sarcodia suae*. *Science of The Total Environment*, 914, 169958. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.169958>
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: The Basics. *Aquaponics Food Production Systems*, 113–143. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_5
- Llegunas, W., & Salas, R. (2017). Productivity and Quality of Aquaponically Grown Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Supplemented with Different Nutrient Solutions. *Science and Humanities Journal*.
- López-Hidalgo, C., Meijón, M., Lamelas, L., & Villedor, L. (2021). *The rainbow protocol: A sequential method for quantifying pigments, sugars, free amino acids, phenolics, flavonoids and MDA from a small amount of sample*. Wiley Online Library.
- Marschner, H. (2012). Functions of macronutrients. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 135–151.
- Maucieri, C., Forchino, A. A., Nicoletto, C., Junge, R., Pastres, R., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Life cycle assessment of a micro aquaponic system for educational purposes built using recovered material. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3119–3127. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.11.097>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E. van, Anseeuw, D., Havermaet, R. Van, & Junge, R. (2019). Hydroponic Technologies. *Aquaponics Food Production Systems*, 77–110. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4
- Mchunu, N., Lagerwall, G., & Senzanje, A. (2017). Food sovereignty for food security, aquaponics system as a potential method: a review. *J Aquac Res Dev*, 8(7), 497.
- Monsees, H., Suhl, J., Paul, M., Kloas, W., Dannehl, D., & Würtz, S. (2019). Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS ONE*, 14(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218368>
- Moyo, S. M., Serem, J. C., Bester, M. J., Mavumengwana, V., & Kayitesi, E. (2020). African Green Leafy Vegetables Health Benefits Beyond Nutrition. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717519>, 37(6), 601–618. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717519>
- Naegel, L. C. A. (1977). COMBINED PRODUCTION OF FISH AND PLANTS IN RECIRCULATING WATER. En *Aquaculture* (Vol. 10).

- 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). <https://doi.org/10.3390/agronomy8030027>
- Oladimeji, A. S., Olufeagba, S. O., Ayuba, V. O., Sololmon, S. G., & Okomoda, V. T. (2020). Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.02.001>
- Oniga, C., Jurcoane, Ștefana, Mocuta, D., & Rahoveanu, A. (2018). Studies about the fish farming development in aquaponic systems: a review. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 22, 237–246.
- Palm, H., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., Haïssam Jijakli, M., & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. En *Aquaculture International* (Vol. 26, Número 3, pp. 813–842). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>
- Palm, H., Knaus, U., Appelbaum, S., Strauch, S. M., & Kotzen, B. (2019). Coupled Aquaponics Systems. *Aquaponics Food Production Systems*, 163–199. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_7
- Palm, H., Nievel, M., & Knaus, U. (2015). Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part III: plant units. *AAFL Bioflux*, 8(1). <http://www.bioflux.com.ro/aac1>
- Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., & Marcucci, A. (2012). *Aquaponics vs. Hydroponics: Production and Quality of Lettuce Crop*.
- Piñero, M. C., Otálora, G., Collado-González, J., López-Marín, J., & Del Amor, F. M. (2020). Differential Effects of Aquaponic Production System on Melon (*Cucumis melo* L.) Fruit Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(24), 6511–6519. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01124>
- Rakocy, J., Bailey, D., Shultz, R., & Danaher, J. (2007). *Preliminary Evaluation of Organic Waste from Two Aquaculture Systems as a Source of Inorganic Nutrients for Hydroponics*.
- Rakocy, J., Masser, M., & Losordo, T. (2016). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture*. <http://osufacts.okstate.edu>
- Rakocy, J., Shultz, R., Bailey, D., & Thoman, E. (2003). *Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System*.
- Rincón, J., Rincón, P., Torres, E., Mondragón, A., Sánchez, M., Arana, A., Ortiz, A., & Jiménez, E. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 279–284.
- Rivera Cabrera, F., Buentello Volante, B., Díaz de León Sánchez, F., & Pérez-Flores, L. J. (2008). *Radicales libres y estrés oxidativo. Aplicaciones médicas* (pp. 493–516). KonigsbergM, editor, México: Manual Moderno.
- Rockström, J., Gupta, J., Lenton, T. M., Qin, D., Lade, S. J., Abrams, J. F., Jacobson, L., Rocha, J. C., Zimm, C., & Bai, X. (2021). Identifying a safe and just corridor for people and the planet. *Earth's Future*, 9(4), e2020EF001866.
- Rodgers, D., Won, E., Timmons, M. B., & Mattson, N. (2022). Complementary Nutrients in Decoupled Aquaponics Enhance Basil Performance. *Horticulturae* 2022, Vol. 8, Page 111, 8(2), 111. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8020111>
- SAGARPA. (2012). *Criterios Técnicos y Económicos para la Producción Sustentable de Tilapia en México*.
- SAGARPA, & SENASICA. (2008). *Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria*.

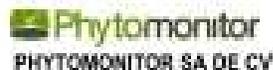
- Sandoval, M., Reyes-Flores, M., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., & Trejo-Téllez, L. I. (2020). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en acuaponía complementado con fertilización foliar de micronutrientes. *Agro Productividad*, 13(5), 79–86. <https://doi.org/10.32854/AGROP.VI.1635>
- Santos Hernandez, J. E. (2021). Producción forzada con defoliantes y podas en el cultivo orgánico de zarzamora (*rubus fruticosus* L.) en Coaxtlahuacán municipio de Mochitlán, Guerrero. *Exploraciones, intercambios y relaciones entre el diseño y la tecnología*, 57–79. <https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H., & Verreth, J. A. J. (2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 32(3–4), 379–401. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2004.09.001>
- Seawright, D. E., Stickney, R. R., & Walker, R. B. (1998). Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. En *Aquaculture* (Vol. 160).
- Senff, P., Baßmann, B., Kaiser, F., Harbach, H., Robin, C., & Fontaine, P. (2023). Root-released organic compounds in aquaponics and their potential effects on system performance. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1260–1266. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12778>
- Serraj, R., Krishnan, L., & Pingali, P. (2018). *Agriculture and Food Systems to 2050: A Synthesis* (pp. 3–45). https://doi.org/10.1142/9789813278356_0001
- Shahzad, M. W., Burhan, M., Ang, L., & Ng, K. C. (2017). Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability. En *Desalination* (Vol. 413, pp. 52–64). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.03.009>
- Somerville, C. (2014). *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*.
- Strik, B. C., & Finn, C. E. (2012). *Blackberry Production Systems-a Worldwide Perspective*.
- Suárez-Cáceres, G. P., Lobillo-Eguíbar, J., Fernández-Cabanás, V. M., Quevedo-Ruiz, F. J., & Pérez-Urrestarazu, L. (2021). Polyculture production of vegetables and red hybrid tilapia for self-consumption by means of micro-scale aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, 95, 102181. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2021.102181>
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., & Schmidt, U. (2016). Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*, 178, 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.013>
- Ugolini, F., Massetti, L., Calaza-Martínez, P., Cariñanos, P., Dobbs, C., Ostoić, S. K., Marin, A. M., Pearlmutter, D., Saaroni, H., & Šaulienė, I. (2020). Effects of the COVID-19 pandemic on the use and perceptions of urban green space: An international exploratory study. *Urban forestry & urban greening*, 56, 126888.
- Vargas-Hernández, M., & Ferrusquía-Jiménez, N. I. (2022). Introducción a la teoría del estrés e inmunología vegetal. En R. G. Guevara-González & I. Torres-Pacheco (Eds.), *Manejo del estrés vegetal como una estrategia para una agricultura sostenible* (Vol. 3, pp. 53–85). Universidad de Almería.
- Watanabe, F. (2016). Vitamin B12 Sources and Bioavailability: <http://dx.doi.org/10.3181/0703-MR-67>, 232(10), 1266–1274. <https://doi.org/10.3181/0703-MR-67>
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., & Khanal, S. K. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. En *Aquacultural Engineering* (Vol. 76, pp. 9–19). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>
- Wongkiew, S., Hu, Z., Nhan, H. T., & Khanal, S. K. (2020). Aquaponics for resource recovery and organic food productions. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Sustainable Bioresources for the Emerging Bioeconomy*, 475–494. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64309-4.00020-9>
- Yang, T., & Kim, H. (2020a). Characterizing nutrient composition and concentration in tomato-

- basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Water (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/W12051259>
- Yang, T., & Kim, H. (2020b). Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Journal of Cleaner Production*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.108619>
- Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges – A review. En *Journal of Cleaner Production* (Vol. 228, pp. 1586–1599). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>
- Yep, B., & Zheng, Y. (2021). Potassium and micronutrient fertilizer addition in a mock aquaponic system for drug-type cannabis sativa l. Cultivation. *Canadian Journal of Plant Science*, 101(3), 341–352. <https://doi.org/10.1139/CJPS-2020-0107/ASSET/IMAGES/CJPS-2020-0107TAB6.GIF>
- Zajdband, A. D. (2011). *Integrated Agri-Aquaculture Systems* (pp. 87–127). https://doi.org/10.1007/978-94-007-1521-9_4
- Zhu, Z., Yogeve, U., Keesman, K. J., & Gross, A. (2021). Onsite anaerobic treatment of aquaponics lettuce waste: digestion efficiency and nutrient recovery. *Aquaculture International*, 29(1), 57–73. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00609-x>

APENDICE

Apéndice A: Análisis y fichas técnicas utilizadas para determinar el efecto en el desarrollo, crecimiento y calidad de la zarzamora cv. Tupy en un Sistema Integrado Agro-Acuícola simple y suplementado.

A.1. Análisis previo de agua de pozo para realizar suplementación de fertilizantes para Tratamiento 2 (T2) y control positivo (CP) para el cultivo de la zarzamora.



ANÁLISIS DE AGUA

Fecha de emisión: 20/05/2024 Fecha Informe: 011064

Datos del Cliente				
Cliente:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO		Zona de Muestreo:	AMAZCALA
Solicitado por:	PRISCILA FLORES	priflores@gmail.com	Ubicación:	El Marqués, Querétaro
Folio Servicio:	24851006		Fecha Recepción:	21/05/2024

Identificación de la muestra				
Folio de Muestra:	MT-2405/1058-3314		Fecha Toma de Muestra:	20/05/2024
Tipo de Muestra:	AGUA		LOTE:	FD020

Resultados					
Parámetros Físicos	Resultado			Norma	
pH (Potenciométrico)	7.87			6.5 - 8.0	
Conductividad Eléctrica mS/cm (Electrométrico)	0.98			0.2 - 2.0 mS/cm	
Reserva de Alkalinidad (Sodio)	2.74			< 3	
Porcentaje Sodio Intercambiable (%)	0.97				
Aniones (-)		ppm	Meq/L	Mmol/L	Norma
Nitrato NO ₃ ⁻ (Bisulfo)	17.36	0.28	0.28		
Fosfato de Calcio	0.48	0.02	0.02		0.0 ppm
Fosfato Disico H ₂ PO ₄ ⁻ (Morgan)	1.50	0.02	0.02		
Sulfato SO ₄ ²⁻ (Turbidimétrico)	19.21	0.43	0.20		< 3 Meq/L
Carbonato CO ₃ ²⁻ (Titulométrico)	0.08	0.03	0.30		< 3.1 Meq/L
Bicarbonato HCO ₃ ⁻ (Titulométrico)	258.24	4.39	4.20		0.5 - 3.0 Meq/L
Cloruro Cl ⁻ (Método)	21.27	0.63	0.60		< 5.0 Meq/L
SUMA DE ANIONES		5.50			
Cationes (+)		ppm	Meq/L	Mmol/L	Norma
Sodio-Na ⁺ (Soluble A. Atómica)	63.00	2.74	2.74		< 5.0 Meq/L
Potasio K ⁺ (Soluble A. Atómica)	11.00	0.79	0.70		0.2 Meq/L
Calcio Ca ²⁺ (Soluble A. Atómica)	27.00	1.38	0.67		5.0 Meq/L
Magnesio Mg ²⁺ (Soluble A. Atómica)	0.00	0.00	0.00		4.0 Meq/L
SUMA DE CATIONES		5.54			
Microelementos		ppm	µmol/L	Norma	
Hierro Fe ²⁺ (L.C.H. Fe - A. Atómica)	0.00		0.00	0.5 ppm	
Zinc Zn ²⁺ (L.C.H. Zn - A. Atómica)	0.01		0.18	1.0 ppm	
Cobre Cu ²⁺ (L.C.H. Cu - A. Atómica)	0.01		0.16	0.2 ppm	
Manganeso Mn ²⁺ (L.C.H. Mn - A. Atómica)	0.01		0.18	0.2 ppm	
Boro B ³⁺ (Azulmetina H)	0.08		8.33	1.0 ppm	

Nota: Los resultados pueden variar debido a las condiciones ambientales en el momento de la muestra. Se puede reproducir o solicitar la información en la fecha establecida.



A.2. Análisis foliar previo de la zarzamora.

Fecha de emisión: 11/04/2022 Folio Informe: 006119

Datos del Cliente				
Cliente:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO	Zona de Muestreo:	MINICALA	
Solicitado por:	PRISCILA FLORES	pefiguila@gmail.com	Ubicación:	El Marqués, Querétaro
Folio Semilla:	20948468	Fecha Recepción:	11/04/2022	

Identificación de Muestra			
Folio de Muestra:	MT.20948468-1498	Fecha Toma de Muestra:	07/04/2022
Tipo de Muestra:	PLANTA	LOTE:	ZARZAMORA
CULTIVO:	ZARZAMORA		

Resultados			
Parámetros Fisicos	ppm	%	Nivel
Nitrogeno Total (%) Hierschfeldt		2.01	
Aniones (-)	ppm	%	Nivel
Nitrogeno Nitrato (NO ₃ ⁻) (Branan) Extracción Con Ac. Acético al 2%	100.00	0.07	
Fosforo de Fosfato P-PC ₄ (Morgan)	2,480.00	0.25	
Azoto de Sulfato S-SO ₄ ⁻² (Turissimovich) Met. Húmedo	5,000.00	0.10	
Cationes (+)	ppm	%	Nivel
Sodio Na ⁺ (Mét. Humedo. A. Atómica.)	1,400.00	0.13	
Potasio K ⁺ (Mét. Húmedo. A. Atómica.)	14,800.00	1.46	
Calcio Ca ⁺⁺ (Mét. Humedo. A. Atómica.)	8,200.00	0.82	
Magnesio Mg ⁺⁺ (Mét. Húmedo. A. Atómica.)	3,000.00	0.30	
Microelementos	ppm	%	Nivel
Hierro Fe ⁺⁺ (Mét. Húmedo. A. Atómica.)	321.00	0.03	
Zinc Zn ⁺⁺ (Mét. Húmedo. A. Atómica.)	20.00	0.00	
Cobre Cu ⁺⁺ (Mét. Humedo. Abs. Atómica)	2.00	0.00	
Manganeso Mn ⁺⁺ (Mét. Húmedo. A. Atómica.)	101.00	0.00	
Boro B ⁺⁺ (Acresolita-IT)	23.00	0.00	

Nota: Los resultados emitidos (solamente en este tipo de muestra) son analizados en el presente laboratorio. Se podrá requerir hasta 5 días para la información en previo a la solicitud.


BICL ATHORI NOEMI BELTRAN GAYTAN
Responsable de Laboratorio



A.3. Análisis del agua de estanque de peces para observar maduración.

Fecha de emisión: 23/05/2024 Folio Informe: 011317

Datos del Cliente				
Cliente:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO	Zona de Muestreo:	ARACAJALA	
Solicitado por:	PRISCILA FLORES	correo: peflores@gmail.com	Ubicación:	El Marqués, Querétaro
Folio Servicio:	24851266	Fecha Recepción:	21/05/2024	

Identificación de la muestra			
Folio de Muestra:	NT-24851006-331E	Fecha Toma de Muestra:	20/05/2024
Tipo de Muestra:	SOLUCION	LOTE:	ESTANQUE
SECTOR:	JUVENILES		

Resultados			
Parámetros Fisicos	Resultado		
pH (Potenciométrico)	7.27		
Conductividad Eléctrica mS/cm (Electrolítico)	0.48		
Reacción de Alkalinidad de Sodio	2.98		
Porcentaje Sodio Intercambiable (%)	1.62		
Aniones (-)	ppm	Meq/L	mmol/L
Nitrato NO ₃ ⁻ (Bisulfo)	93.63	0.17	0.17
Fosfato de fosfato	0.73	0.02	0.02
Fosfato Disoluble H ₂ PO ₄ ⁻ (Morgan)	2.25	0.02	0.02
Sulfato SO ₄ ²⁻ (Turbidimétrico)	0.83	0.02	0.10
Carbonatos CO ₃ ²⁻ (Titulación)	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos HCO ₃ ⁻ (Titulación)	298.24	4.28	4.20
Cloruro Cl ⁻ (Método)	14.18	0.43	0.40
SUMA DE ANIONES		4.98	
Cationes (+)	ppm	Meq/L	mmol/L
Sodio Na ⁺ (Soluble A. Atómica)	50.08	2.22	2.52
Potasio K ⁺ (Soluble A. Atómica)	30.08	0.62	0.62
Calcio Ca ²⁺ (Soluble A. Atómica)	36.08	0.90	1.40
Magnesio Mg ²⁺ (Soluble A. Atómica)	8.00	0.68	0.33
Amonio NH ₄ ⁺ (EDTA/Fenol)	1.28	0.07	0.07
SUMA DE CATIONES		4.97	
Microelementos	ppm	µmol/L	
Hierro Fe ²⁺ (L.C.H. Fe-A, Atómica)	0.01	0.18	
Zinc Zn ²⁺ (L.C.H. Zn-A, Atómica)	0.00	0.00	
Cobalto Co ²⁺ (L.C.H. Co-A, Atómica)	0.01	0.18	
Manganeso Mn ²⁺ (L.C.H. Mn-A, Atómica)	0.01	0.18	
Boro B ³⁺ (Azometría-H)	0.19	17.93	
Observaciones	Verificado conc. de N-NH3 y P-PO4		

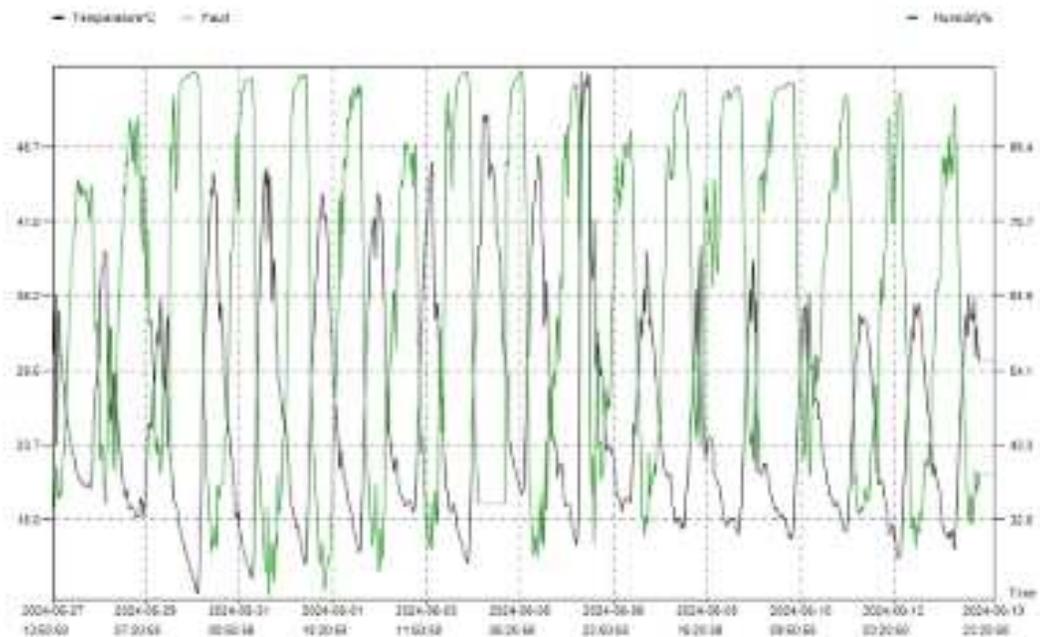
Nota: Los resultados escritos únicamente están bajo responsabilidad de Phytomonitor. Se prohíbe reproducir total o parcialmente la información sin previa autorización.

BIOLOGÍA ATEROINOEMI BELTRÁN GAYTÁN
Laboratorio de Laboratorio



A.4 Microclima del domo geodésico de las zarzamoras antes y después del tiempo de tratamiento de 216 horas. Los datos se exportaron de un GSP-6 temperature & humidity Data Logger, ELITECH, México.

Device Information			
Device Model:	GSP-6	Probe Type:	Temperature & Humidity
Serial Number:	EFG213102720	Firmware Version:	V2.6
Total Space:	16000		
Trip Description			
Trip Number:	N/A		
Trip Description:	GSP-6 temperature & humidity Data Logger		
Config. info			
Button Stop:	Enable	Logging Interval:	30m
Mute Button:	Disable	Alarm Logging Interval Shorten (1 min):	Disable
Alarm Tone:	Disable	Storage Mode:	Stop when full
Alarm Threshold		Alarm Status	
H1: Above: 60.0°C	Unlimited	Ok	
L1: Below: -30.0°C		Ok	
HH: Above: 80.0%	Unlimited	Alarm	
HL: Below: 10.0%		Ok	
Summary			
Maximum:	52.5°C / 97.2%	Start Time:	2024-05-27 13:50:58
Minimum:	12.2°C / 21.8%	Stop Time:	2024-06-13 20:20:58
Average:	25.1°C / 64.7%	Logging Duration:	17d 8h 30m
MKT:	30.5°C	Total Memory:	1028
Alarm Time(Te):	N/A	Current Readings:	836
Alarm Time(Humidity):	2024-05-27 20:50:58		



A.5. Análisis previo sobre los valores en los compuestos orgánicos en el agua de los peces.

ANÁLISIS DE SOLUCION NUTRITIVA

Fecha de emisión: 12/04/2022 Fecha Informe: 806483

Datos del Cliente:			
Cliente:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO	Zona de Muestreo:	ARRASCALA
Solicitado por:	PRISCILA FLORES	Correo:	peflores@unq.mx
Folio Servicio:	23840468	Fecha Recepción:	11/04/2022

Identificación de la muestra:			
Folio de Muestra:	NT-23840468-1488	Fecha Toma de Muestra:	07/04/2022
Tipo de Muestra:	SOLUCION	LOTE:	AGUA DE PEZ

Resultados			
Parámetros Fisicos	Resultado		
pH (Potenciométrico)	7.80		
Conductividad Eléctrica mS/cm (Electrométrico)	0.52		
Relación de Absorción de Sodio	1.80		
Parámetro Sodio Intercambiable (%)	1.39		
Aniones (-)	ppm	Meq/L	Mmol/L
Nitrato NO ₃ ⁻ (Bisulfato)	7.44	0.12	0.12
Fosfato de Hierro	1.12	0.04	0.04
Fosfato Diácido H ₂ PO ₄ ⁻ (Alcapari)	3.87	0.04	0.04
Sulfato SO ₄ ²⁻ (Turbidimétrico)	8.61	0.28	0.10
Carbonato CO ₃ ²⁻ (Titulométrico)	0.00	0.00	0.00
Bicarbonato HCO ₃ ⁻ (Titulométrico)	258.24	4.20	4.20
Cloruro Cl ⁻ (Mohr)	30.78	0.60	0.60
SUMA DE ANIONES		5.26	
Cationes (+)	ppm	Meq/L	Mmol/L
Sodio Na ⁺ (Soluble A. Atómica)	50.00	2.17	2.17
Potasio K ⁺ (Soluble A. Atómica)	30.00	0.77	0.77
Calcio Ca ²⁺ (Soluble A. Atómica)	40.00	2.00	1.00
Magnesio Mg ²⁺ (Soluble A. Atómica)	9.00	0.74	0.37
Amonio NH ₄ ⁺ (EDTA/Fenol)	4.63	0.28	0.28
SUMA DE CATIONES		5.94	
Microelementos:	ppm	ppm/L	
Hierro Fe ²⁺ (L.C.H. Fe-A. Atómica)	0.00	0.00	
Zinc Zn ²⁺ (L.C.H. Zn-A. Atómica)	0.08	1.22	
Cobre Cu ²⁺ (L.C.H. Cu-A. Atómica)	0.00	0.00	
Manganeso Mn ²⁺ (L.C.H. Mn-A. Atómica)	0.00	0.38	
Boro B ³⁺ (Azulmetil-H)	0.02	1.05	

Nota: Los resultados se refieren únicamente a las muestras analizadas en el presente documento. Se prohíbe servirnos más o cambiar la información de estas subsecciones.


DR. EMMANUEL CAZAREZ QUIROZ
Responsable del Laboratorio



A.6. Análisis del agua de estanque de peces para realizar suplementación de fertilizantes para Tratamiento 2 (T2) y control positivo (C+) para el riego del cultivo de la zarzamora del Tiempo Cero al Tiempo 144h. .



ANÁLISIS DE SOLUCION NUTRITIVA

Datos del Cliente			
Fecha de emisión:	30/05/2024	Folio Informe:	012008
Cliente:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO	Zona de Muestreo:	ABASCALA
Solicitado por:	PRISCILA FLORES	ubicación:	El Marqués, Querétaro
Folio Servicio:	24051498	Fecha Recepción:	28/05/2024
Identificación de la muestra			
Folio de Muestra:	NT-24051498-4478	Fecha Toma de Muestra:	27/05/2024
Tipo de Muestra:	SOLUCION	LOTE:	JChENES
SECTOR:	TIEMPO 0		
Resultados			
Parámetros Fisicos	Resultado		
pH (Potenciometría)	8.21		
Conductividad Eléctrica mS/cm (Electrométrico)	0.46		
Relación de Absorción de Sodio	1.30		
Porcentaje Sodio Intercambiable (%)	0.70		
Aniones (-)	ppm	Meq/L	Mmol/L
Nitrato NO ₃ ⁻ (Busina)	11.06	0.13	0.10
Fosfato de hidrógeno	0.48	0.02	0.02
Fosfato Dicalco H ₂ PO ₄ ⁻ (Mogart)	1.50	0.02	0.02
Sulfato SO ₄ ²⁻ (Turbidimétrico)	82.44	1.38	0.65
Carbonato CO ₃ ²⁻ (Titulación)	0.00	0.00	0.00
Bicarbonato HCO ₃ ⁻ (Titulación)	97.62	1.60	1.60
Cloruro Cl ⁻ (Mohr)	63.81	1.60	1.60
SUMA DE ANIONES		4.90	
Cationes (+)	ppm	Meq/L	Mmol/L
Sodio Na ⁺ (Soluble A. Alómica)	62.06	2.79	2.70
Potasio K ⁺ (Soluble A. Alómica)	32.06	0.62	0.62
Calcio Ca ²⁺ (Soluble A. Alómica)	11.06	0.65	0.27
Magnesio Mg ²⁺ (Soluble A. Alómica)	6.00	0.14	0.27
Amonio NH ₄ ⁺ (EDTA/Fixo)	1.80	0.13	0.10
SUMA DE CATIONES		4.90	
Microelementos	ppm	µmol/L	
Hierro Fe ²⁺ (L.C.H. Fe-A. Alómica)	0.00		0.00
Zinc Zn ²⁺ (L.C.H. Zn-A. Alómica)	0.01		0.16
Cobre Cu ²⁺ (L.C.H. Cu-A. Alómica)	0.01		0.16
Manganeso Mn ²⁺ (L.C.H. Mn-A. Alómica)	0.01		0.16
Boro B ³⁺ (Azorrelina-H)	0.28		28.83
Observaciones	Verificado con: de H-NO3 y P-P04		

Nota: Los resultados emitidos únicamente están bajo la responsabilidad de la presente laboratorio. Se prohíbe reproducir total o parcialmente la información de esta publicación.





COSMOCEL

HOJA TÉCNICA

ROOTEX[®]

Promotor de desarrollo radicular

COMPOSICIÓN PORCENTUAL:

Nitrógeno (N)	7%
Fósforo (P ₂ O ₅)	47%
Potasio (K ₂ O)	6%
L-Aminoácidos	3.0%
Ácidos húmicos	15.5%
Auxinas	0.03%
Inertes	21.47%

ASPECTO FÍSICO: Polvo soluble

PRESENTACIÓN: Bote de 1 Kg y bolsa de 10 Kgs

INFORMACIÓN GENERAL:

ROOTEX es una combinación aminoácidos, ácidos orgánicos y nutrientes cuya finalidad es inducir la emisión de raíces así como fortalecer su crecimiento posterior.

Los beneficios generales del reforzamiento del sistema radicular son: Una mayor capacidad exploratoria del suelo, una mejor formación de tejidos vasculares y una mayor capacidad de sintetizar hormonas que en conjunto establecen condiciones para un mayor potencial productivo.



RECOMENDACIONES:

CULTIVO	ETAPA	TIPO DE APLICACIÓN	DOSES Kg/Ha	OBSERVACIONES
HORTALIZA Tomate, chila, sandía, melón, cebolla, berenjena, etc.	Establecimiento	Riego por goteo	2 a 5	Hacer la primera aplicación al trasplante, repetir la segunda y tercera semana de ser necesario.
		Planta por planta	2 a 4	Hacer aplicación al pie de la planta, procurando hacer una distribución uniforme de la solución.
	Desarrollo	Riego por goteo	3 a 6	Hacer una o dos aplicaciones en riegos continuos según problemas.
FRUTALES Vid, mango, aguacate, cítricos, durazno, manzana, nogal, etc.	Establecimiento	Riego presurizado	3 a 5	Hacer la primera aplicación al trasplante, repetir una o dos veces según desarrollo.
		árbol por árbol	5 a 8	Hacer aplicación al pie del árbol, procurando hacer una distribución uniforme de la solución.
	Desarrollo	Riego presurizado	10 a 15	Dirigir aplicación a épocas donde se presente "flujo radicular", haciendo una o dos aplicaciones según el caso.

INDICACIONES DE USO:

ROOTEX es un producto para la aplicación al suelo en cultivos anuales y perennes, bajo condiciones de riego por gravedad y presurizado así como cultivos bajo condiciones de temporal.

Nuestras recomendaciones tienen un carácter general, y se basan en resultados obtenidos de experimentación confiable. Sugerimos ajustárlas siempre a los requerimientos del cultivo y a programas de nutrición basados en análisis confiables de suelo y tejidos.

PRECAUCION:

ADVERTENCIAS DE USO: Utilice el equipo de seguridad adecuado (overol, lentes, mascarillas). Evítese el contacto directo con la piel y los ojos.

PRIMEROS AUXILIOS: En caso de ingestión, aplicar tratamiento sintomático.



MEDIDAS DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE: Disponga de los envases vacíos de acuerdo a l reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente en materia de residuos peligrosos.

No contamine cuerpos de agua, especialmente donde haya peces, o que se utilicen para consumo humano o como abrevaderos para ganado.

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE: No se almacene ni transporte junto a alimentos, ropa, forrajes. Almacénese en un lugar fresco y seco. No se deje al intemperie

A.8. Ficha técnica fertilizante

Poly-feed GG

Poly-feed GG 12-43-12+ME

Fertilizante sólido hidrosoluble NPK enriquecido con micro-elementos

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

NUTRIENTES		MICRO-NUTRIENTES	
Nitrogeno Total (N)	12.0 %	Hierro (Fe)	1000ppm
Nitrogeno nítrico (NNO ₃)	3.5 %	Manganeso (Mn)	300ppm
Nitrogeno Amónico (NH ₄)	8.5 %	Zinc (Zn)	150ppm
Nitrogeno Ureico (N-UH ₂)	0.0 %	Boro (B)	300ppm
Fósforo (P ₂ O ₅)	43.0%	Cobalto (Co)	110ppm
Solubilidad en agua a 20°C (g/l)		Molibdeno (Mo)	70ppm
Potasio soluble (K ₂ O)	12.0%		
pH (Solución al 1%)	5.0-5.5		
Cl. (Solución al 1%) (g)	0.13-0.18 mg/cm		
Solubilidad (ml a 25°C)	350-450		

Fuente de Nutrientes Primarios: Nitrato de Potasio, Fosfato Monocálmico, no contiene urea.

Las materias primas como fuente de microelementos son sales de Boro y Molibdeno, quelatos EDTA de Fe, Mn, Zn, Cu.

Presentación:

- Saco de polietileno o polipropileno laminado de 25 kg

Uso:

- Fertilizante para Nutrición™ y aplicaciones foliares en los cultivos.
- Poly-feed GG puede ser mezclado con una amplia variedad de agroquímicos.

Actualizado Junio 2013



Haifa Chemicals Ltd. P.O. Box 11011, Matzpen Haifa, 31905, Israel. Tel: +972-24-7373737, Fax: +972-24-7373733 info@haifachemicals.com

Haifa México S.A. de C.V. Sierra Cardela 111613 Col. Los de Chapultepec Sección 1, 11000 México D.F. Tel: +5255-52804366, Fax: 5280-9015, Mexico@haifagroup.com

www.haifa-group.com



A.9. Análisis pre-experimentación de 72h para conocer los valores en los compuestos orgánicos en el agua de los peces y tomar decisiones para comenzar Tiempo cero.

ANÁLISIS DE SOLUCION NUTRITIVA

Fecha de emisión: 23/05/2022 Folio Informe: 01198

Datos del Cliente				
Cliente:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO		Zona de Muestreo:	ARACCALA
Solicitado por:	PRISCILA FLORES	priscilaflores@uaq.mx	Ubicación:	El Manzano, Queretaro
Folio Servicio:	2205198		Fecha Recepción:	28/05/2022

Identificación de la muestra			
Folio de Muestra:	NT-22051946-3-068	Fecha Toma de Muestra:	19/05/2022
Tipo de Muestra:	SOLUCION	LOTE:	AGUA DE PEP
SECTOR:	TERA CORREGA		

Resultados			
Parámetros Físicos	Resultado		
pH (Potenciométrico)	7.99		
Conductividad Eléctrica mS/cm (Electrométrico)	0.62		
Reacción de Alarsión de Sodio	-2.99		
Porcentaje Sólido Intercambiable (%)	1.43		
Aniones (-)	ppm	Meq/L	mg/L
Nitrato NO ₃ (Espectro)	4.25	0.07	4.27
Fosfato de Hidrógeno	1.52	0.05	1.55
Fosfato Disico H ₂ PO ₄ (Bogán)	4.75	0.05	4.85
Sulfato SO ₄ ²⁻ (Turbidimétrico)	5.81	0.29	5.70
Carbonatos CO ₃ ²⁻ (Titulación)	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos HCO ₃ ⁻ (Titulación)	309.45	5.43	314.40
Cloruro Cl ⁻ (Mohr)	39.36	0.80	39.80
SUMA DE ANIONES		6.62	
Cationes (+)	ppm	Meq/L	mg/L
Sodio Na ⁺ (Soluble A. Atómica)	33.08	2.34	33.34
Potasio K ⁺ (Soluble A. Atómica)	17.08	0.95	16.95
Calcio Ca ²⁺ (Soluble A. Atómica)	40.08	2.00	40.00
Magnesio Mg ²⁺ (Soluble A. Atómica)	5.00	0.68	5.33
Amonio NH ₄ ⁺ (EDTA/Fenol)	0.74	0.48	0.49
SUMA DE CATIONES		6.48	
Microelementos	ppm	µg/L	
Ferro Fe ²⁺ (L.C.H. Fe-A. Atómica)	0.02	0.36	
Zinc Zn ²⁺ (L.C.H. Zn-A. Atómica)	0.06	0.02	
Cobre Cu ²⁺ (L.C.H. Cu-A. Atómica)	0.00	0.00	
Manganeso Mn ²⁺ (L.C.H. Mn-A. Atómica)	0.03	0.05	
Boro B ³⁺ (Azulmetil+)	0.17	15.73	

Nota: Los resultados emitidos únicamente sobre las muestras analizadas en el presente laboratorio. Se prohíbe expresamente todo intercambio de información sin nuestra autorización.

Q.F.S. EMMANUEL CAZAREZ QUIROZ
Responsable de Laboratorio



Apéndice B. Productos obtenidos durante el doctorado

ARTÍCULOS

B.1. Flores-Aguilar, P. S., & Soto-Zarazúa, G. M. (2024). El impacto positivo de los Sistemas Integrados Agro-acuícolas en el Objetivo para el Desarrollo Sostenible 6- Agua limpia y Saneamiento. Perspectivas De La Ciencia Y La Tecnología, 7(12), 8-25. <https://doi.org/10.61820/pct.v7i12.1105> (Original work published 2024)



B.2. Flores-Aguilar, P.S.; Sánchez-Velázquez, J.; Aguirre-Becerra, H.; Peña-Herrejón, G.A.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M. Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level? Sustainability 2024, 16, 1130. <https://doi.org/10.3390/su16031130>



Review

Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level?

Priscila Sarai Flores-Aguilar ¹, Julieta Sánchez-Velázquez ¹, Humberto Aguirre-Becerra ¹, Guillermo Abraham Peña-Herrejón ², Sergio Aurelio Zamora-Castro ³ and Genaro Martín Soto-Zarazúa ^{1,*}

¹ Facultad de Ingeniería Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, El Marqués 76265, Mexico; priscila.flores@uaq.mx (P.S.F.-A.); julieta.sanchez@uaq.mx (J.S.-V.); humberto.aguirre@uaq.mx (H.A.-B.)

² Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Materia Agrícola, Pecuaria, Acuicola y Forestal, Campus Conca, Universidad Autónoma de Querétaro, Arroyo Seco 76410, Mexico; guillermo.pena@uaq.mx

³ Facultad de Ingeniería, Construcción y Hábitat, Universidad Veracruzana, Boca del Río 94294, Mexico; szamora@uv.mx

* Correspondence: soto_zarazua@yahoo.com.mx; Tel.: +52-442-332-9713

Abstract: Meeting the demand for food through sustainable agro-industrial systems has become a concern due to the current state of the planet's natural resources, population growth, and climate change. To address this, the 2030 Agenda has laid out several strategies to enhance human well-being and protect the planet. This paper focuses on Goal 2, which aims to end hunger, achieve food security, improve nutrition, and promote sustainable agriculture. The first three targets of this goal are as follows: 2.1, ending hunger and ensuring access to nutritious food; 2.2, ending all forms of malnutrition; and 2.3, doubling the agricultural productivity of small-scale food producers. The purpose of this manuscript is to demonstrate how aquaponics can positively impact these three targets by guaranteeing food security through the production of high-quality protein. Aquaponic crops are enriched with organic nutrients from the water they grow in. This not only increases their nutrient content but also their bioactive molecule content, making them excellent for fighting hunger and malnutrition. Moreover, these practices can be adjusted to different scales, making them a viable option for small farmers, women, and rural communities to produce their own food. Consequently, aquaponics can play a crucial role in achieving Zero Hunger locally, with appropriate support.

Keywords: sustainable agriculture; aquaponics; zero hunger; agenda 2030; organically-enriched waters; food security



Citation: Flores-Aguilar, P.S.; Sánchez-Velázquez, J.; Aguirre-Becerra, H.; Peña-Herrejón, G.A.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M. Can Aquaponics Be Utilized to Reach Zero Hunger at a Local Level? *Sustainability* 2024, 16, 1130. <https://doi.org/10.3390/su16031130>

Academic Editors: Md Rami Uddin and Uttam Kumar Sarkar

Received: 28 October 2023

Revised: 15 January 2024

Accepted: 22 January 2024

Published: 29 January 2024

1. Introduction

The conventional method of food production and consumption, together with the rising population, has caused an imbalance in planetary ecology. This has consequently led to a state where our existing linear economic structure falls short in guaranteeing adequate sustenance for society. Agriculture faces a variety of significant challenges. These include over-utilization of cultivated land and groundwater, which can lead to heavy metal contamination and decreased crop production. To create a regenerative and distributive

B.3. Flores-Aguilar, P.S.; Rico-Chávez, A.K.; Rodríguez-deLeón, E.; Aguirre-Becerra, H.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M. Bioactive Compounds of Endemic Medicinal Plants (*Cuphea* spp.) Cultured in Aquaponic Systems: A Short Study. Agriculture 2023, 13, 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture13102018>

Article

Bioactive Compounds of Endemic Medicinal Plants (*Cuphea* spp.) Cultured in Aquaponic Systems: A Short Study

Priscila Sarai Flores-Aguilar ¹, Amanda Kim Rico-Chávez ¹, Eloy Rodríguez-deLeón ², Humberto Aguirre-Becerra ¹, Sergio Aurelio Zamora-Castro ³ and Genaro Martín Soto-Zarazúa ^{1,*}

¹ Facultad de Ingeniería Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, El Marqués 76265, Mexico; priscila.flores@uaq.mx (P.S.F.-A.); amanda.rico@uaq.mx (A.K.R.-C.); humberto.aguirreb@uaq.mx (H.A.-B.)

² Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas, Querétaro 76010, Mexico; eloy.rodriguez@uaq.mx

³ Facultad de Ingeniería, Construcción y Hábitat, Universidad Veracruzana, Boca del Río 94294, Mexico; szamora@uv.mx

* Correspondence: soto_zarazua@yahoo.com.mx; Tel.: +52-442-332-9713

Abstract: Aquaculture waters can be associated with the modification of the phytochemical profile in plants when they are used for irrigation; thus, Integrated Agri-Aquaculture Systems such as aquaponics represent a strategy to improve the bioactive content of medicinal plants. This study aimed to analyze the effect caused by cultivation using aquaponics on the modification of the content of bioactive compounds such as phenols, flavonoids, and apigenin in *Cuphea lyssoptifolia* and *Cuphea cyanea* irrigated with *Cyprinus carpio* waters. The results of each culture method showed unique differences ($p \leq 0.05$) in the concentrations of bioactive compounds and antioxidant activity in *Cuphea* spp. For *C. lyssoptifolia* in aquaponics, 76% ($61.08 \pm 7.2 \text{ mg g}^{-1}$ GAEq) of phenols and 50% ($5.62 \pm 0.5 \text{ mg g}^{-1}$ CAEq) of flavonoids were maintained compared to 20% ($16.99 \pm 0.4 \text{ mg g}^{-1}$ GAEq) of phenols and 76.5% ($8.19 \pm 1.6 \text{ mg g}^{-1}$ CAEq) of flavonoids in conventional culture. For *C. cyanea* in aquaponics, 91% ($15.36 \pm 0.8 \text{ mg g}^{-1}$ GAEq) of phenols and 47% ($3.52 \pm 0.6 \text{ mg g}^{-1}$ CAEq) of flavonoids were maintained compared to 24% ($14.11 \pm 1.3 \text{ mg g}^{-1}$ GAEq) of phenols and 82% ($1.79 \pm 0.1 \text{ mg g}^{-1}$ CAEq) of flavonoids in conventional culture. An increase of more than 60% in the apigenin content of *C. lyssoptifolia* in aquaponics confirms a eustress effect related to the use of organically enriched waters. The results indicate that aquaponics can promote the biostimulation/elicitation of medicinal plants and increase their bioactive compounds, but this effect does not occur in the same way between species.

Keywords: medicinal plants; aquaponics; biostimulation; sustainable food production systems; secondary metabolites



Citation: Flores-Aguilar, P.S.; Rico-Chávez, A.K.; Rodríguez-deLeón, E.; Aguirre-Becerra, H.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M. Bioactive Compounds of Endemic Medicinal Plants (*Cuphea* spp.) Cultured in Aquaponic Systems: A Short Study. *Agriculture* **2023**, *13*, 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture13102018>

Academic Editor: Ronald Kennedy Liu

Received: 9 August 2023

Revised: 8 October 2023

Accepted: 31 October 2023

Published: 18 October 2023



1. Introduction

Aquaponics is part of a broader area, Integrated Agri-aquaculture Systems (IAAS), in which joins two of the most productive sectors in the field: aquaculture and hydroponics [1]. According to [2,3] vegetables produced in aquaponic systems show greater fruiting than those grown in hydroponics systems. In this way, aquaponics directly and positively impacts some goals of the 2030 agenda, such as zero hunger, good health and well-being, and climate action, because it increases productivity and protein diversification.

Article

An Improved Method to Obtain Fish Weight Using Machine Learning and NIR Camera with Haar Cascade Classifier

Samuel Lopez-Tejeida ¹, Genaro Martin Soto-Zarazua ^{1,*}, Manuel Toledano-Ayala ², Luis Miguel Contreras-Medina ¹, Edgar Alejandro Rivas-Araiza ² and Priscila Sarai Flores-Aguilar ¹

¹ Facultad de Ingeniería Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera a Chichimucpallas 57/N Km 1, Amazcala, El Marques 76265, Querétaro, Mexico

² Facultad de Ingeniería Centro Universitario, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas 57/N, Santiago de Querétaro 76010, Querétaro, Mexico

* Correspondence: soto_zarazua@yahoo.com.mx or genaro.soto@uaq.mx; Tel.: +1-52-44-2332-9713

Abstract: The calculation of weight and mass in aquaculture systems is of great importance, since with this task, it is decided when to harvest; generally, the above is manipulating the body manually, which causes stress in the fish body. Said stress can be maintained in the fish body for several hours. To solve this problem an improved method was implemented using artificial intelligence, near-infrared spectroscopy camera, Haar classifiers, and a mathematical model. Hardware and software were designed to get a photograph of the fish in its environment in real conditions. This work aimed to obtain fish weight and fish length in real conditions to avoid the manipulation of fish with hands for the process mentioned, avoiding fish stress, and reducing the time for these tasks. With the implemented hardware and software adding an infrared light and pass band filter for the camera successfully, the fish was detected automatically, and the fish weight and length were calculated moreover the future weight was estimated.

Keywords: machine learning; Haar; NIR; aquaculture; fish growth



Citation: Lopez-Tejeida, S.; Soto-Zarazua, G.M.; Toledano-Ayala, M.; Contreras-Medina, L.M.; Rivas-Araiza, E.A.; Flores-Aguilar, P.S. An Improved Method to Obtain Fish Weight Using Machine Learning and NIR Camera with Haar Cascade Classifier. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 69. <https://doi.org/10.3390/app13010069>

Academic Editors: José Miguel Molina Martínez, Glorie García Mateos and Dolores Parra-Burgos

Received: 26 November 2022
Revised: 9 December 2022
Accepted: 13 December 2022
Published: 21 December 2022

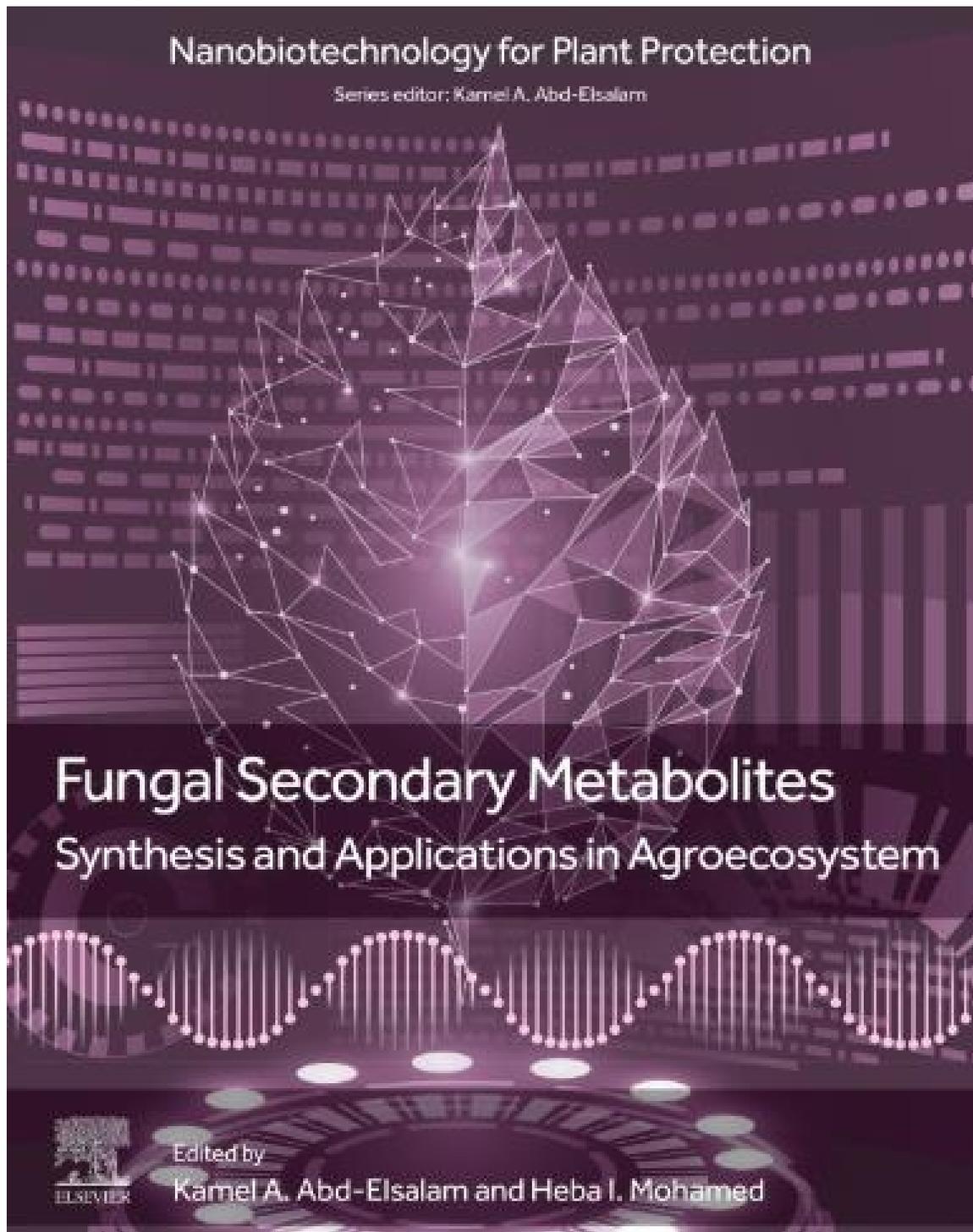


Copyright: © 2022 by the authors.

1. Introduction

Imaging object detection, nowadays, is widely used to identify objects. However, the most advantageous to the classification of moving objects [1], especially underwater object detection, has been a challenge because the water influences the recognition of the object [2]. The use of image analysis has produced applications that help in the agriculture to medicine fields [3]. On the other hand, in aquaculture, multiple tasks can be performed using imaging detection. However, there are also modern practices involving automation and intelligent technology [4]: technology such as the internet of thing (IoT) helps to obtain data from the tank culture with the use of sensors and avoid poor levels of oxygen, water contamination, parasites, or disease transmission [5]. Additionally, some examples are the regression methods used in aquaculture for the management and water quality predictions, time series methods, artificial neural network methods, and support machine methods [6]. Moreover, agriculture 4.0 contributes to the development of agriculture because crops can be cultivated much easier with less effort in less time, as well as every time the growing variables can be monitored by a sensor and displayed on a PC or cell phone screen; digital technologies such as cyber-physical (CPS), artificial intelligence (AI),

B.5. Humberto Aguirre-Becerra, Julieta Sánchez-Velázquez, Valeria Caltzonzin-Rabell, Diana Sáenz-de-la-O, Priscila S. Flores-Aguilar, Rosario Guzmán-Cruz, Luis M. Contreras-Medina, Juan F. García-Trejo, Ana A. Feregrino-Pérez, Chapter 8 - Applications of *Verticillium* spp. for inducing secondary metabolism in plants to cope with biotic and abiotic stress. In *Nanobiotechnology for Plant Protection, Fungal Secondary Metabolites*, Elsevier, 2024, Pages 155-172, ISBN 9780323952415, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95241-5.00026-5>.



Applications of *Verticillium* spp. for inducing secondary metabolism in plants to cope with biotic and abiotic stress

Humberto Aguirre-Becerra^a, Julieta Sánchez-Velázquez^b, Valeria Caltzonzin-Rabell^b, Diana Sáenz-de-la-O^b, Priscila S. Flores-Aguilar^b, Rosario Guzmán-Cruz^a, Luis M. Contreras-Medina^a, Juan F. García-Trejo^a, and Ana A. Feregrino-Pérez^a

^aGroup of Basic and Applied Bioengineering, Faculty of Engineering, Autonomous University of Queretaro, El Marqués, Querétaro, México ^bPhD Biosystems Engineering, Faculty of Engineering, Autonomous University of Queretaro, El Marqués, Querétaro, México

1 Introduction

Agriculture is a primary source of food and plays a fundamental role in the economy of any country. This activity represents the basis of human life and is the largest source of food grains and other raw materials (Pandey et al., 2022). However, farmers face serious problems achieving sustainable agriculture that cost-effectively manages the growing food demand, with different needs in each country. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) report “The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges” emphasizes that the outbreaks of transboundary pests and diseases in several crops have considerably increased, leading to severe environmental, economic, and social impacts. The modification of the distribution area, appearance, and duration of pests and diseases due to changing weather patterns is altering the productivity of several crops. Additionally, the full effects of these problems are difficult to analyze, predict, and correct. Changes in temperature, solar radiation, air humidity, and concentrations of atmospheric gases can modify the growth of plants, insects, animals, and fungi, altering the cycle and interaction between pests, their natural enemies, and their hosts. The change in land covering (i.e., deforestation and desertification due to agriculture and urban growth) can make crops more vulnerable to pests and diseases (FAO, 2017). Finally, the intensive use of fertilizers led to soil degradation with depletion of organic matter, soil fertility, soil enzymatic activities, and nutrient mineralization, as well as an alteration of the biomass production and microbial community composition (Babla et al., 2022; Yi et al., 2022). Therefore, the development of sustainable and less resource-intensive agriculture will be fundamental given the economic and resource constraints (Calicioglu et al., 2019).

Crops have always been attacked by fungi, nematodes, and insects. Almost a third of the crop yield is lost due to pests, pathogen infections, and competition with weeds (Basaid et al., 2021; FAO, 2017). In this way, synthetic pesti-

B.6. Estrada, María de la Luz Sánchez, et al. "Tecnologías para optimizar el agua en la acuicultura." Revista electrónica de difusión científica, tecnológica y de innovación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro-Nthe. ISSN 2007-9079; cuatrimestral, enero – abril – 2023, num 41. <https://www.researchgate.net/profile/Maria-De-La-Luz->

[Estrada/publication/370466719 Tecnologias para optimizar el agua en la acuicultura/links/64515d094af78873525184d3/Tecnologias-para-optimizar-el-agua-en-la-acuicultura.pdf](https://www.researchgate.net/publication/370466719_Tecnologias_para_optimizar_el_agua_en_la_acuicultura/links/64515d094af78873525184d3/Tecnologias-para-optimizar-el-agua-en-la-acuicultura.pdf)



ÍNDICE	
Estudio de factibilidad de un policultivo acuapónico bajo invernadero Samuel López-Tejeda J. Josafat De León-Ramírez Leticia Félix-Cuencas Sergio Alonso Martínez-Ramos Laboratorio de Bioingeniería Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Querétaro Laboratorio de Diseño de Innovación Social Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Querétaro	1
Antecedentes para el desarrollo de ciudades inteligentes en México Alma Alejandra Velázquez Alejos Josefina Morgan Beltrán Universidad Autónoma de Querétaro	08
Tecnologías para optimizar el agua en la acuicultura María de la Luz Sánchez Estrada Valeria Caltzontzin Rabell Priscila Sarai Flores Aguilar Genaro Martín Soto Zarazúa	19
Reconocimiento de la Lengua de Señas Mexicana mediante redes neuronales Kenneth Mejía Pérez Diana Margarita Córdova Esparza Facultad de Informática Universidad Autónoma de Querétaro	27
Biosíntesis y extracción de Polihidroxicanoatos por Pseudomona putida usando residuos orgánicos como sustrato Cynthia Rocío Flores-Juárez Ana Raquel S. Estilla-Escamilla Juan Pablo Leyva-Hurtado Fabiola Ramos-Alemán Daniel Hernández-Arriaga Julio Cesar González-Olvera División industrial área de Nanotecnología Universidad Tecnológica de Querétaro Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Tecnológico Nacional de México, Campus Querétaro Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui	34
Uso de tomografía computarizada para la inspección de uniones adhesivas unidas usando adhesivo metilmetacrilato Cebso Eduardo Cruz González Juan Manuel Salgado López Luis del Llano Vizcaya Marco Paredes Dirección de Ingeniería de Manufactura Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial Gerencia de Sistemas Mecánicos, Dirección de Ingeniería Mecánica, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial	40



ACUAPONÍA: UNA ALTERNATIVA VERSÁTIL E INTEGRAL EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS PARA EL ENTORNO MEXICANO

AQUAPONICS A VERSATILE AND INTEGRATED ALTERNATIVE IN FOOD PRODUCTION FOR THE MEXICAN ENVIRONMENT

Flores-Aguilar Priscila S. ¹, García-Trejo Juan Fernando¹, Sergio Iván Martínez-Guido ^{1*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, Carretera a Chichimequillas s/n, km 1, el Marqués, Querétaro, 76205, México.

* Autores de correspondencia: pflores21@alumnos.uaq.mx, fernando.garcia@uaq.mx, mciq.martinez@gmail.com

Resumen

La agricultura tradicional es responsable de un gran porcentaje de la huella ecológica. Sin embargo, la acuaponía, considerada un sistema de producción agrícola moderno, es sostenible en términos de uso eficiente de recursos naturales. La acuaponía es una técnica que ocupa dos tipos de cultivos, el cultivo de peces (acuicultura) y el de plantas (hidroponía). Esta manera de cultivar, además de sostenible, es versátil y se puede adaptar tanto a los entornos urbanos mexicanos, como a peri-urbanos y rurales. Se presenta una clasificación sobre diferentes diseños de la acuaponía considerando acomodos espaciales, especies utilizadas y adaptaciones en la recirculación del agua. La información incluida en este manuscrito pretende informar sobre la creación de sistemas acuapónicos a pequeña escala y semi-comercial, que cumplan las necesidades de México. Una vez que se establecen estos sistemas, es necesario generar una base de datos respecto a la inversión, gasto de recursos y rendimiento de estos sistemas, ya que la información nacional es limitada. Esta información podrá confirmar lo que las tendencias mundiales dicen con respecto a la eficiencia y sostenibilidad de la acuaponía y propiciar la propagación de esta técnica para desarrollarla con más confianza a nivel nacional y disminuir la huella ecológica que actualmente tiene el país.

Palabras claves: agricultura urbana, biosistemas, conservación de recursos, huella hídrica, productividad, sostenibilidad.

Abstract

Traditional agriculture is responsible for a large percentage of the ecological footprint. However, aquaponics, considered a modern agricultural production system, is sustainable in terms of the efficient use of natural resources. Aquaponics is a technique that occupies two types of culture, fish (aquaculture) and plant (hydroponics). This way of growing is also versatile and can be adapted to Mexican urban, peri-urban, and rural environments. Thus, a classification of different designs, spatial arrangements, species used, and adaptations in the recirculation of water in aquaponics are presented. The information provided pretend to inform about small and semi-commercial scale aquaponic systems that meet the Mexican requirements. Once established, it is necessary to generate a database regarding investment, resource expenditure, and performance of these systems since national information is limited. This information will be able to confirm what global trends say regarding the efficiency and sustainability of aquaponics and to propitiate the use of this technique with more confidence at the national level and reduce the ecological footprint that occur nowadays.

Keywords: urban agriculture, biosystems, resource conservation, water footprint, productivity, sustainability.

PARTICIPACIONES NACIONALES

B.8. Acreedora de un financiamiento por parte del Fondo de Fomento a la Cultura Emprendedora



B.9. Participación en REPENTINA ARQUITECTURA 2024 con el tema “170 acciones diarias de los objetivos (ODS) aplicados a proyectos”



La Licenciatura en Arquitectura a través del Grupo Colegiado en Edificación Bioclimática y Sostenible, (UAQ-CG-38) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, otorga el presente

RECONOCIMIENTO a:

DRA. PRISCILA SARAÍ FLORES AGUILAR

Por su participación como ponente en el evento de la
REPENTINA ARQUITECTURA 2024
con el tema “170 acciones diarias de los objetivos OSD
aplicadas a proyectos”

Santiago de Querétaro, Querétaro a 19 de marzo de 2024


M.A.S. José Granados Navarro
Coordinador de la Licenciatura en Arquitectura
Facultad de Ingeniería


M. en Arq. Áileen Mendoza Pérez
Representante del
GC en Edificación Bioclimática y Sostenible

B.10. Conferencia en Línea dirigida a la comunidad escolar de la Escuela Secundaria General No. 2 Mariano Escobedo Clave: 22DES0008U con el tema “Sostenibilidad, definiciones y estrategias actuales”.

Escuela Secundaria General No. 2
"MARIANO ESCOBEDO"
CLAVE 22DES0008U



SECCIÓN: DIRECCIÓN
MESA: CORRESPONDENCIA
EXPEDIENTE: G/110(DES0008U) 2021-2022/1

ASUNTO: CONSTANCIA

A QUIEN CORRESPONDA.

La Dirección de la Escuela por este medio extiende la presente constancia a la:

M. EN C. PRISCILA SARAÍ FLORES AGUILAR

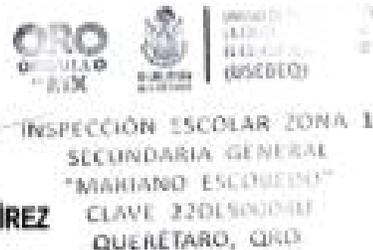
Por impartir la conferencia en línea dirigida a la comunidad escolar con el **tema sustentabilidad, definición y estrategias actuales**. Reconocemos su valiosa participación y agradecemos nos haya regalado su conferencia en modalidad virtual para compartir en el sitio web de la escuela.

conectasecu2qro.net

Se extiende la presente para los fines a que haya lugar en la ciudad de Santiago de Querétaro, Qro., a los veintisiete días del mes de mayo del año dos mil veintidós.

Atentamente

MTRA. ALICIA XICOTÉNCATL RAMÍREZ
DIRECTORA



B.11. Reconocimiento instructor en el Diplomado en Gestión de Proyectos y Empresas Agropecuarias



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA



FI

CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE QUERÉTARO OTORGA EL

RECONOCIMIENTO

A: M EN C PRISCILA SARAÍ FLORES AGUILAR

Por haber participado como ponente invitado en el Módulo III con el tema de "Sistemas Acuapónicos" para el Diplomado en Gestión Proyectos y Empresas Agropecuarias 2023-1

Concá, Arroyo Seco, Qro., a 11 de Mayo de 2023.

"El ingenio para crear, no para destruir"

M. EN C. ADÁN MERCADO LUNA
COORDINACIÓN GENERAL DEL DIPLOMADO EN
GESTIÓN DE PROYECTOS Y EMPRESAS AGROPECUARIAS
CAMPUS CONCÁ

B.12. Ponencia titulada “Los Sistemas Integrados Agro-Acuícolas y su interrelación con la Economía más dulce—Dona Económica” en el evento “Cadenas de Valor sostenible” de la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN) iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas.



Otorgan la presente

CONSTANCIA

A

Priscila Saraí Flores Aguilar

Por su participación como ponente en el evento
“Cadenas de Valor Sostenible”
de la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible (SDSN)
iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas.

**PONENCIA: Los Sistemas Integrados Agro-Acuícolas y
su interrelación con la Economía más dulce — Dona Económica**

Querétaro, Qro., 13 de septiembre de 2023.

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca

RECTORA DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

B.13. Instructora por dos ocasiones consecutivas del Curso "Educación e Investigación para el Desarrollo Sostenible", correspondiente a los Rubros Didáctico Pedagógico y Actualización Disciplinar



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
SECRETARÍA ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE DESARROLLO ACADÉMICO



Otorgan la presente

CONSTANCIA

A

Priscila Sarai Flores Aguilar

Por su participación como Instructor(a) del Curso "Educación e Investigación para el Desarrollo Sostenible", correspondiente a los Rubros Didáctico Pedagógico y Actualización Disciplinar, del Programa Institucional de Formación de Profesores, que se llevó a cabo del 23 de enero al 27 de enero 2023, en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería, avalado por la Dirección de Desarrollo Académico, con una colaboración de 25 horas, de un total de 25 horas.

C.U. Santiago de Querétaro, 27 de enero 2023.

"Educo en la Verdad y en el Honor"



SOMOS UAQ

6313557987831742464573928



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
SECRETARÍA ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE DESARROLLO ACADÉMICO



Otorgan la presente

CONSTANCIA

A

PRISCILA SARAI FLORES AGUILAR

Por haber impartido satisfactoriamente el Curso "Educación e Investigación para el Desarrollo Sostenible", correspondiente a los rubros Didáctico Pedagógico y Inducción Institucional, del Programa Institucional de Formación del Profesorado, que se llevó a cabo del 26 de junio de 2023 al 30 de junio de 2023 de forma en línea, en las instalaciones de Facultad de Ingeniería, avalado por la Dirección de Desarrollo Académico.

C.U. Santiago de Querétaro, 04 de agosto de 2023

"Educo en la Verdad y en el Honor"



SOMOS UAQ

4665926668232726897908543



B.14. Reconocimiento de participación en videoconferencia por parte de el Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable



El Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro
a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable

otorga el presente:

RECONOCIMIENTO

al: **M. en C. Priscila Sarai Flores Aguilar**

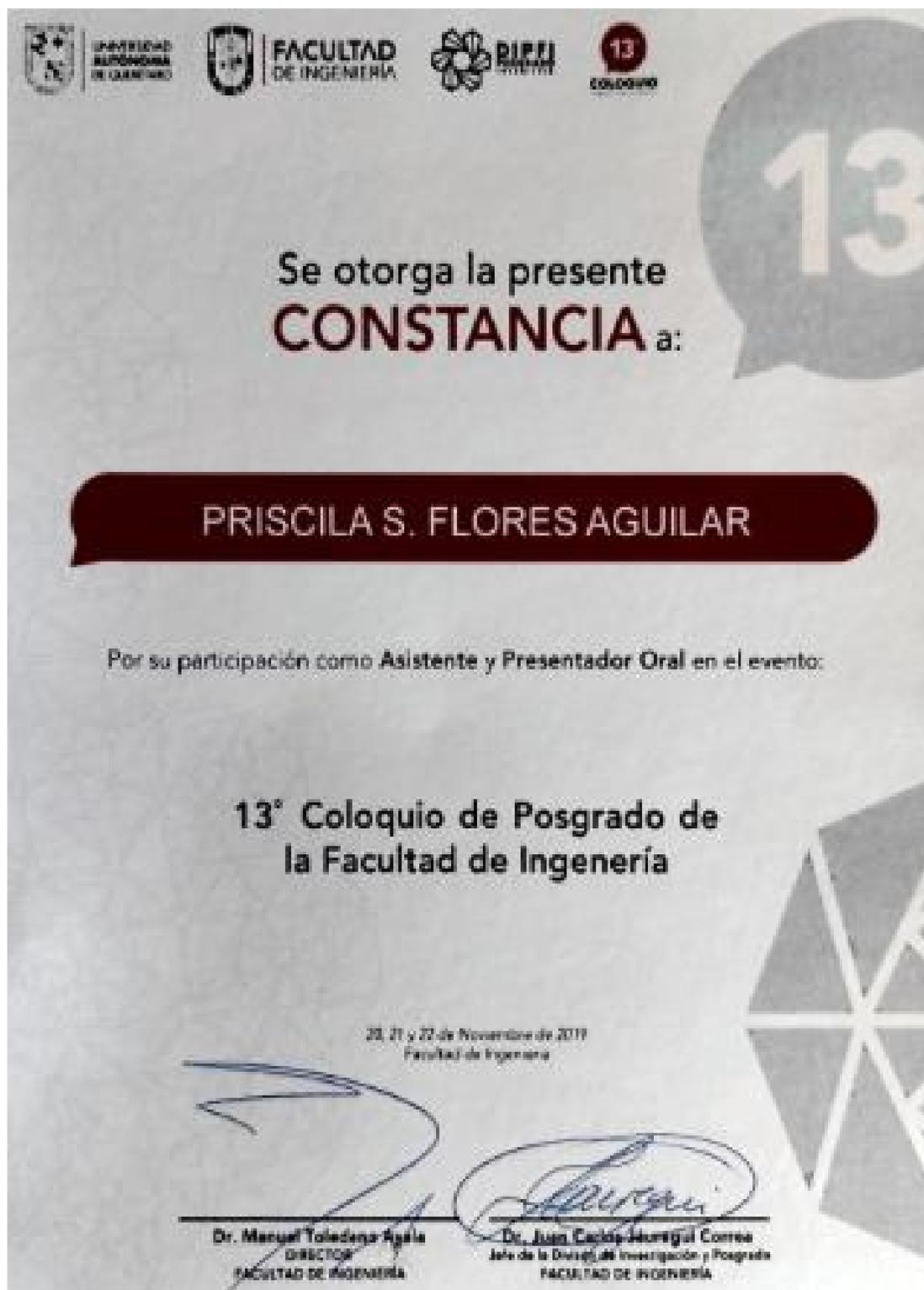
Por su participación con la videoconferencia:

**“Avances en los sistemas
de producción acuapónica”**

Ing. Ricardo Javier Torres Hernández
Subsecretario de Medio Ambiente

Querétaro, Qro., 09 de septiembre de 2021.

B.15. Asistente y Presentador oral den el 13 Coloquio de Posgrado de la Facultad de Ingeniería 2019



B.16. Participación como ponente en El Primer Congreso Internacional Agroindustria, Sistemas Agropecuarios y Sustentabilidad con el tema “El impacto positivo de la acuaponía en el Objetivo para el Desarrollo Sostenible 6-Agua limpia y Saneamiento”



PARTICIPACIONES INTERNACIONALES

B.17. Certificate Sustainability in a globalized world - tools and concepts 3hp; PhD basic courses in transferable skills Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala SWEDEN



This certifies that

Priscila Flores-Aguilar

has successfully completed

Sustainability in a globalized world - tools and concepts 3hp

(see other side for complete course description)

2021-10-04 - 2021-11-26

Elisabeth Rajala (SLU), Isabel Vogel (UK), Natalie Jellinek (SLU), Peter Aspengren (SLU), Mamie Hancke (SLU)

Course leader

2022-01-27

PhD basic courses in transferable skills
Swedish University of Agricultural Sciences
P.O. Box 7070
SE-750 07 Uppsala SWEDEN

B.18. International Liason Coordinator for the formal collaboration between UAQ and GCUA2030



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
RECTORÍA



Our formalization as members of the GCUA aims to achieve the academic mobility of teachers and students. Our focus lies primarily on those whose research and work relates to biosystems, agriculture, and aquaculture, with the ultimate goal of expanding to all faculties, areas, and programs, including culture and arts, exact sciences, and more. To achieve this, we propose offering courses, training, short or long stays, and even joint postgraduate courses through a hybrid virtual and in-person format, utilizing the facilities of all the universities involved in the program.

Also, we will be happy to provide our student society, teachers, and annexes with access to a wide range of globally recognized digital scientific journals, which can be accessed through this international network, thereby eliminating the need for students to resort to unlawful methods to access information; thus, impacting the initial purpose of ensuring inclusive and equitable quality education by forming alliances to meet the SDGs. Additionally, we hope to secure international funds unavailable to us as foreigners and apply for national fund programs as a global alliance to increase our chances of obtaining and making a more significant social impact.

So, the UAQ offers to invite academics or students to scientific and national dissemination events virtually or hybrid, without commitment to financing, and will also continue to participate in the mentoring program and receive academic students.

With great enthusiasm for formal collaboration, the UAQ authorities have signed below.

Margarita Teresa de Jesús García Gasca
Chancellor of the Universidad Autónoma de Querétaro
(UAQ-Autonomous University of Querétaro)

Manuel Toledoño Ayala
Administrative Agent of FI

Genaro Martín Soto Zarzúa
Technical Coordinator of FI

Priscilla Sarai Flores Aguilar
International Liason Coordinator

*This application for full membership of GCUA was approved on 31/01/2024
we welcome UAQ as a full GCUA member*

*- Paul Egait - Paul Egait
Coordinator - GCUA*

*- Ylva Hillbur - Ylva Hillbur
Pro-VC for International Relations - SLLd*



Centro Universitario, Carril de los Compañeros s/n, San Diego de Querétaro, Qro. México, C.P. 76010
Tel: +52 (52) 2200 100 Ext. 3103

B.19. International Liason Coordinator for the formal collaboration between Sistemas Embebidos y Aplicaciones and the Department of Forest Economics, SLU Global, SWEDEN



Sveiges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Adán L. Martínez-Cruz
Department of Forest Economics

2024/05/03

To whom it may concern

I gladly write this letter to express my intention to participate in the project “Establecimiento de las condiciones productivas del langostino nativo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en un Sistema de Recirculación Acuicola”.

I am looking forward to collaborating with both academic groups in charge of this project in Universidad Autónoma de Queretaro, Mexico –i.e. the group Desarrollo de Sistemas Integrales Agroecológicos Sostenibles, and the group Sistemas Embebidos y Aplicaciones—.

In my role as Coordinator of Global Development in the Faculty of Forest Sciences at SLU, I am committed to involving researchers and students at SLU in this project’s future steps. In particular, I have identified colleagues at SLU who possess skills that synergistically complement those of colleagues at Universidad Autónoma de Queretaro.

The aim of this project falls well within SLU’s global expertise and goals. SLU aims to play a key role in development for sustainable life, based on science and education. Therefore, SLU conducts education, research and environmental monitoring and assessment in collaboration with society at large.

SLU Global is a unit in SLU’s Vice-chancellor’s office that supports the university’s work for global development to contribute to Agenda 2030. This work is guided by the Policy for SLU’s global contribution to Agenda 2030, which focuses on six areas that reflect the strengths of SLU: climate change, food security, circular and biobased economy, biodiversity and ecosystems, global health and urban sustainability. With its central role at the university, SLU Global is well placed to participate in multi-country, multi-department, and multi-faculty collaborations.

Without hesitation, **contact me in case that you need further details** about SLU’s intentions to participate in this project. I am available via mobile (+46 73 71 25 400) or at adan.martinez.cruz@slu.se

Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Adán L. Martínez-Cruz', is written over a light blue horizontal line.

Adán L. Martínez Cruz
Associate Professor, Department of Forest Economics
Coordinator of Global Development, Faculty of Forest Sciences

B.20. Certificate of participation during the final GCUA2030 /STINT meeting held at Haga Slott, Enköping, SWEDEN



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences



SLU Global

Global Challenges University Alliance

2024-03-18, Uppsala Sweden

Priscila Sarai Flores-Aguilar

Position: PhD student, Universidad Autónoma de Querétaro, Mexico

Email: psfaguilar@gmail.com

Tel: +524428729430

Certificate of participation

Priscila Sarai Flores-Aguilar participated as representative for Autonomous University of Querétaro, Mexico, a partner of the Global Challenges University Alliance (GCUA 2030), during the final GCUA2030 /STINT meeting held at Haga Slott, Enköping, Sweden from January 30th to February 1st 2024.

Please find the programme for the meeting below.

Ms Flores-Aguilar represented her university in an excellent way by hosting two short presentations about membership application and a SDG course. She also contributed well in discussions about the future development of the network.

We thank her for her participation in the meeting and we all look forward to the university's contribution to GCUA 2030.

Yours Sincerely,

Agnes Bondesson

Communications officer GCUA 2030

Swedish University of Agricultural Sciences
Vice-Chancellor's Office
Agricultural Sciences for Global
Development (G) Box 7005, SE-750 07
Uppsala, Sweden

Web: [GCUA 2030](https://gcu2030.org)
E-mail: GCUA@slu.se

VAT no: SE202100281701
www.slu.se

Phone: +46 18 67 10 00 (switchboard)

B.21. International Liason Coordinator for the formal collaboration between Sistemas Embebidos y Aplicaciones and the Centre for Environmental and Resource Economics (CERE) –a joint venture between University of Umea and SLU-Umea—SWEDEN



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Adán L. Martínez-Cruz
Department of Forest Economics

2024/05/03

To whom it may concern

I write this letter to express my intention to participate in the project “Diseno de un sistema agrivoltaico para optimizacion de uso de agua en sistemas de riego inteligentes para uso de comunidades apartadas en el estado de Queretaro”, which is led by two academic groups in Universidad Autonoma de Queretato –i.e. the group Sistemas Embebidos y Aplicaciones, and the group of Biosistemas—.

In my role as Scientific Secretary of the Centre for Environmental and Resource Economics (CERE) –a joint venture between University of Umea and SLU-Umea—, I am looking forward to involving researchers and students at CERE in the working package that analyzes the economic feasibility of the proposed irrigation strategy. In addition, we will value this irrigation system in terms of ecosystem services embedded in the consequent improvement of environmental endpoints. This type of analysis is CERE’s team strongest suit.

Without hesitation, **contact me in case that you need further details** about SLU’s intentions to participate in this project. I am available via mobile (+46 73 71 25 400) or at adan.martinez.cruz@slu.se

Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Adán L. Martínez-Cruz', written over a light blue horizontal line.

Adán L. Martínez Cruz
Associate Professor, Department of Forest Economics
Scientific Secretary, Centre for Environmental and Resource Economics

Certificate

GCUA 2030 Mentorship Programme, March – November 2022

Priscila Sarai Flores-Aguilar



The GCUA 2030 Mentorship Programme is part of the Global Challenges University Alliance (GCUA 2030) which is a network of university partners from across the globe with a common vision of contributing to sustainable, global development. The programme has the following goals:

- Support PhD students' sustainable (self) leadership within academia
- Strengthen the PhD students' relational and communication skills – for visibility, networking, collaboration and stakeholder management
- Reflect and learn more about the academic culture and norms – so as to reflect and decide whether to stay/leave, adapt/change & how to navigate
- Reflect and learn about a norm critical leadership and approach
- Create a strong community of learning, support and development

The GCUA 2030 Mentorship Programme is run in partnership with INDEA and supports each individual's development through theory, tools, training, reflection, experience and networking opportunities.

The programme spans over 8 months and consists of 8 modules of half a day each. The mentees have in addition had monthly regular meetings with an individual mentor. During the GCUA 2030 Mentorship Programme the participants have worked on developing:

- Strategies to stay, grow and succeed in academia
- Personal purpose and future career goals
- Self-awareness of personal patterns and behaviours
- Feedback skills and practice
- Coaching skills and practice
- Awareness and knowledge of Gender, Norms, Privileges and Power
- Strategies for handling Micro-aggressions/Master suppression techniques
- Strategies and skills for leading with trust
- Sustainable self-leadership and stress management
- Reflective practices

Stockholm, November 25, 2022

Dr. Elisabeth Rajala,
GCUA 2030 coordinator

Katarina Billing, Programme leader
INDEA AB



