

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO



**Reúso de agua residual tratada como fuente de nutrientes para el crecimiento de flores de
interés comercial en sistemas hidropónicos**

Elaborado Por

M. en C. Martha Liliana Cifuentes Torres

Codirigido Por

Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa

Dr. Juan Gabriel Correa Reyes

Ensenada, Baja California, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Reúso de Agua Residual Tratada como fuente de nutrientes para el crecimiento de flores
de interés comercial en Sistemas Hidropónicos

TESIS

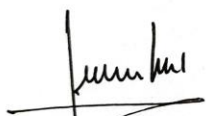
Para obtener el grado

DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Presenta

M. en C. Martha Liliana Cifuentes Torres

Aprobado por



Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza
Espinosa
Director de Tesis



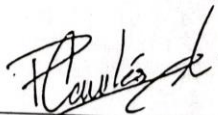
Dr. Juan Gabriel Correa Reyes
Sinodal



Dr. Luis Walter Daesslé Heuser
Sinodal



Dra. María Cristina Garza Lagler
Sinodal



Dr. Pabel Antonio Cervantes Avilés
Sinodal

RESUMEN

A nivel mundial se producen 360 mil millones de $\text{m}^3 \text{a}^{-1}$ de aguas residuales (AR), de los cuales solo la mitad son debidamente tratadas. Adicionalmente, la alta demanda del sector agrícola sobre el recurso hídrico ha llevado a que se planteen estrategias, como el reúso de agua residual en agricultura. La implementación de tecnologías más eficientes como la hidroponía, es otra alternativa que minimiza el uso de agua hasta 90%. Es por ello, por lo que, en el presente estudio, se evaluó el efecto del agua residual tratada (ART), en el crecimiento de dos flores de ornato, girasol y snapdragon, en sistemas hidropónicos. Para ello se usaron tres calidades de agua: solución nutritiva Steiner (SN), agua residual tratada cruda (ART) y agua residual complementada (ARTc), y dos sustratos: arcilla expandida Hydroton® (H) y turba ProMix® (S). Para analizar el crecimiento de las plantas se registraron parámetros de crecimiento: longitud de tallo y raíz, diámetro de tallo, # de hojas, # de flores, peso fresco, peso seco y peso orgánico. La absorción de nitrógeno y fósforo también fue evaluada, determinando el estadio de crecimiento en el que hay una mayor acumulación de estos elementos. Adicionalmente, se realizó el análisis de flujo de nitrógeno y fósforo en los sistemas hidropónicos, estableciendo la absorción real de estos. La evaluación de la calidad comercial de las flores producidas fue analizada por medio de los parámetros productivos (Tasa de Crecimiento Relativo: TRC e índice de Calidad: IC). En términos de economía ambiental se calculó la huella hídrica azul de los sistemas hidropónicos implementados y se hizo una evaluación financiera, en la que se comparó los sistemas de producción tradicional con los sistemas hidropónicos ensayados.

Se obtuvo como resultado general que el tratamiento el ARTc produce flores de calidad comercial, similares a las obtenidas en SN. Esto fue ejemplificado con los resultados de los parámetros de crecimiento como la longitud total en girasol (138 ± 50 cm en promedio), el diámetro de tallo (6.67 ± 7 mm en promedio) y la longitud de inflorescencia en snapdragon (35 ± 7 cm en promedio). Respecto a los parámetros productivos, la TCR tampoco mostró diferencias entre ART y SN para las dos flores cultivadas, siendo de $0.06 - 0.10 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$. De igual manera, la absorción de N en girasol fue de 3.5% - 4.5% en el tratamiento SN en los estadios 2, 3 y 4; mientras que para snapdragon fue de 1.0 a 1.6% en los estadios 3 y 4. Respecto al P la absorción fue mayor para los estadios 3 y 4, tanto para girasol como para snapdragon, con porcentajes de 1.5 – 3.0% y de 0.3 – 0.8%, respectivamente. No obstante, el balance de masa demostró que tanto el N como el P tuvieron concentraciones sobrantes (de aproximadamente de un 20%) al analizar el flujo de masas, por lo que se considera que la suplementación nutricional puede ser menor a la planteada en este

estudio. Otro nutriente que se encontró en exceso fue el S, el cual estuvo en concentraciones similares a las planteadas por Steiner solamente en el ART. Las altas concentraciones de Cl^- y Na^+ , pudieron limitar la absorción de otros iones, pero la suplementación de micronutrientes permitió una menor afectación en las plantas. Respecto al sustrato, el uso de arcilla expandida Hydroton® favoreció la aireación de las raíces y disminuyó la disponibilidad de Cl^- y Na^+ , contribuyendo también a que estos iones no tuvieran un efecto notorio en las flores. En términos económicos, el sistema hidropónico y el sistema tradicional con ART para la producción de snapdragon obtuvieron los mejores índices de rentabilidad, con una tasa interna de retorno superior al 50% a los 8 años de implementado el sistema de producción. De igual manera, se estimó una reducción del 80% de uso de agua al emplear sistemas hidropónicos, con consumos de entre $124 - 132 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. No obstante, algunos riesgos que deben ser atendidos al emplear ART son la acumulación de metales pesados y contaminantes emergentes en los tejidos vegetales, la posibilidad de contaminación microbiológica y el incremento de ácidos fenólicos y compuestos orgánicos en el agua y en las plantas. Sin embargo, el adecuado tratamiento de las ART empleadas y uso de sustratos hidropónicos y de soluciones nutricionales adecuadas junto con organismos biológicos complementarios en los sistemas pueden constituir una oportunidad para reducir los riesgos y potenciar el uso de ART en sistemas hidropónicos. De esta manera se concluyó que los sistemas hidropónicos planteados en el presente estudio son una alternativa de producción de girasol y snapdragon, empleando como recurso hídrico – nutricional ART, que deben ser complementadas principalmente con micronutrientes y concentraciones menores de N, P y S. De igual manera, el sustrato hidropónico Hydroton® resultó ser viable para el crecimiento de las flores cultivadas. Los sistemas hidropónicos adicionalmente, resultaron una alternativa eficaz para la reducción de nutrientes en las ART.

ABSTRACT

Worldwide 360 billion m³year⁻¹ of wastewater (WW) is produced, but only half is properly treated. In addition, the high demand of the agricultural sector on the resource has led to the development of strategies, such as the reuse of wastewater in agriculture. The implementation of more efficient technologies such as hydroponics is another alternative that minimizes water use by up to 90%. This study evaluated the effect of treated wastewater on the growth of two ornamental flowers, sunflower and snapdragon, in hydroponic systems. Three water qualities were used: Steiner nutrient solution (NS), raw treated wastewater (RTW) and supplemented treated wastewater (STW), and two substrates: Hydroton® expanded clay (H) and ProMix® peat (S). To analyze plant growth, growth parameters were recorded: stem length, root length, stem diameter, number of leaves, number of flowers, fresh weight, dry weight, and organic weight. Nitrogen and phosphorus uptake was also evaluated, determining the growth stage in which there is a greater accumulation of these elements. In addition, nitrogen and phosphorus flow analysis was carried out in the hydroponic systems, establishing the real absorption of these elements. The evaluation of the commercial quality of the flowers produced was analyzed by means of the productive parameters (Relative Growth Rate: RGR and Quality Index: QI). In terms of environmental economics, the blue water footprint of the hydroponic systems implemented was calculated and a financial evaluation was made, comparing the traditional production systems with the hydroponic systems tested.

It resulted that the STW produces flowers of commercial quality, like those obtained in NS. This was evidenced by similar results in growth parameters such as stem length and root length, and number of leaves and number of flowers. RGR also showed no differences between STW and NS. Nutrient uptake remained constant throughout the growth period, but both N and P were found to have excess concentrations when analyzing the mass flow, so it is considered that nutrient supplementation may be lower than that proposed in this study. Another nutrient found in excess was S, which was at concentrations like those reported by Steiner only in the RTW. The high concentrations of Cl⁻ and Na²⁺ may have limited the uptake of other ions, but the supplementation of micronutrients had less effect on the plants. Regarding the substrate, the use of Hydroton® expanded clay favored the aeration of the roots and reduced the availability of Cl⁻ and Na²⁺ also contributing to the fact that these ions did not have a noticeable effect on the flowers. In economic terms, the hydroponic system, and the traditional system with RTW for snapdragon production obtained the best profitability indexes, compared to the other production systems evaluated. Similarly, an 80% reduction in water use was estimated when using hydroponic systems. However,

some risks that need to be addressed when using RTW are the accumulation of heavy metals and emerging contaminants in plant tissues, the possibility of microbiological contamination and the increase of phenolic acids and organic compounds in water and plants. But the adequate treatment of the RTW used and the use of suitable hydroponic substrates, adequate nutrient solutions and complementary biological organisms in the systems can constitute an opportunity to reduce the risks and enhance the use of RTW in hydroponic systems. Thus, it was concluded that the hydroponic systems proposed in this study are an alternative for sunflower and snapdragon production, using RTW as a water-nutritional resource, which must be complemented mainly with micronutrients and lower concentrations of N, P and S. Likewise, the Hydroton® hydroponic substrate proved to be viable for the growth of the cultivated flowers. Hydroponic systems also proved to be an effective alternative for nutrient reduction in RTW. ⁱ

DEDICATORIA

A mi familia, por ser el motor de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ayudarme a lograr mis sueños y por indicarme el camino que debo seguir. Porque cada experiencia de mi vida ha sido un aprendizaje y porque has puesto en mi camino a las personas indicadas para guiarme y apoyarme.

A mis papás por ser ejemplo de fuerza, paciencia, resistencia y fe. Por ser mis guías, por confiar en mí y apoyarme siempre y por siempre esperar mi regreso a casa.

A mis hermanas por ser mis mejores amigas, por siempre escucharme y alentarme. Por cuidar de mis papás y por ser las mejores hermanas.

A mis sobrinos, Lupe, Alberto Andrés y Adriancito, porque a pesar de la distancia, he vivido con ellos lo mucho que han crecido. Por ser unos niños tan inteligentes, por dar el amor que yo no he podido brindar a mis papas. Por sus ocurrencias y por los bellos recuerdos que fueron mi catalizador y fuerza, en los momentos más difíciles.

Al primogénito, a mi mago favorito, Germán Andrés, porque simplemente es un ejemplo de fortaleza, de fe y de resiliencia. Porque es mi mejor amigo y el hermano menor que nunca desee, pero que llegó como sobrino mayor. Gracias por tantos aprendizajes y por permitirme soñar a su lado.

A mis abuelitos, Abel y Benilda, que como ángeles de “recién ingreso” siguen guiando mi camino. Y a mis abuelitos, Octavio y Luisa, que desde hace más de 10 años son mis ángeles guardianes.

A mis tíos, Clara, Julio, Abel, Miriam y Dario, porque siempre han sido el mayor apoyo de mi mamá.

A mi tío Javi, porque a pesar de la distancia siempre ha estado atento a mí y a mis papás. Por sus historias y experiencias y por creer en mí siempre.

A May, MaPis y Dai, por recibirme siempre en Colombia, con los brazos abiertos. Por escuchar mis audios de 15 minutos y por compartir conmigo los momentos buenos y no tan buenos.

A mi Cari bella, por su confianza y por recibirme siempre con una sonrisa. Por su alegría y buena vibra. Por permitirme hacer parte de su vida y de su familia. Por las tardes de charlas, las noches

de fiesta, las madrugadas de animalitos en la cama. Los desayunos, comidas y cenas deliciosas. Gracias por tantas experiencias, mishita.

A mis Colombis, Eri y Georgi, porque gracias a ustedes no enloquecí. Gracias por las charlas añorando nuestra patria, la comida, los lugares, las familias. Por las noches de juegos interminables y de pizza y cerveza. Gracias Eri por hacerme parte de tu familia, por compartir conmigo las sonrisas de Emilio. Gracias Georgi por confiar en mí, por compartir conmigo tus secretos y por guardar los míos.

A Frank, a Tali y a Alfredo, por ser mis compañeros de generación y amigos. Por compartir conmigo tantos momentos felices de sus vidas. Gracias por cada regalo y por cada palabra de aliento.

A la Dra. Laura López, por creer en mi y por brindarme el apoyo que necesite, a pesar de no conocerme. Por sus enseñanzas y por las charlas y el café. Por defenderme y ser empática en las situaciones difíciles que afronte.

A la Dra. Cristina Garza por su empatía, por escucharme, apoyarme y enseñarme con paciencia y cariño. Por ayudarme a entender un poco más de economía y por recibirme en su oficina cada vez que necesitaba su guía.

A la maestra Tirzza, por las clases de inglés, por las charlas, por escucharme y animarme a seguir. Y por ser un hermoso ser humano.

A mis maestros, los doctores Walter, Ileana, Laura, Conchita, George, por sus clases y sus enseñanzas, por compartir conmigo sus puntos de vista y darme las bases para la culminación de mis estudios.

A los miembros del comité Sinodal, doctores Walter, Pabel, Cristina, por sus observaciones y el tiempo que dedicaron a mis avances y a mi escrito de tesis. Por todos sus valioso comentarios y dudas.

A mis codirectores, los doctores Gabriel y Leopoldo, por su paciencia, apoyo y por sus enseñanzas. Por sus ideas y sus observaciones y comentarios. Por confiar en mí y apoyarme en el desarrollo de mi experimento y de la tesis. Gracias Dr. Gabriel por prestarme un espacio en su cubo, por los cafés, el pan y las donas, por compartir conmigo tantas historias. Por su disposición a escucharme, por acompañarme por las plantas, el agua, las canastas y demás elementos necesarios para el montaje de los sistemas hidropónicos. Gracias al Dr. Leopoldo por los desayunos y por compartir conmigo

algunos de sus momentos familiares. Gracias por el apoyo económico el último semestre de mis estudios. Gracias a los dos por ser el apoyo emocional que necesite en mis momentos más duros y por ser mis guías y mis padres académicos.

A la Universidad Autónoma de Baja California y a todo su personal, por prestarme el espacio y las instalaciones, para recibir clase y para desarrollar el experimento. Gracias a las secretarias, los intendentes, los porteros y todo el personal que hace posible el funcionamiento de la universidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo económico y seguro médico, porque gracias a esto pude solventar mis gastos y desarrollar mi proyecto.

Al Centro Florícola de Baja California por proporcionar datos y material vegetal para llevar a cabo el experimento.

A mis compañeros de cohorte, Iván, Carlos y Humberto, por compartir conmigo sus proyectos y aportar con sus idea y observaciones al mío. Por la convivencia y por los buenos momentos en el salón de clase.

Gracias infinitas a todos,

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	5
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTOS	8
LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE TABLAS	20
LISTA DE FÓRMULAS	23
PUBLICACIONES	24
CAPÍTULO 1. INTRODUCCION Y SINOPSIS	25
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	29
OBJETIVO GENERAL	29
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
HIPÓTESIS	29
HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN:	29
HIPÓTESIS ALTERNATIVA:	30
CAPÍTULO 3. REVISIÓN DE LITERATURA	31
HYDROPONICS WITH WASTEWATER: A REVIEW OF TRENDS AND OPPORTUNITIES	31
ABSTRACT:	31
INTRODUCTION	31
3.1. HISTORY OF HYDROPONICS	32
3.2. TYPES OF THE CIRCULATION SYSTEMS IN HYDROPONICS	33
3.3. TYPE OF HYDROPONICS AND SOILLESS SYSTEMS	34

3.4. NUTRIENT SOLUTIONS FOR PLANTS AND HYDROPONIC SYSTEMS	36
3.5. USES FOR HYDROPONIC SYSTEMS	37
3.6. THE USE OF WASTEWATER FOR IRRIGATION	37
3.7. HYDROPONIC SYSTEMS WITH WASTEWATER	40
3.8. FULL-SCALE STUDIES	44
3.9. HYDROPONICS AND ORGANIC PRODUCTS	44
3.10. THE FUTURE OF HYDROPONICS	46
3.11. ENERGY SAVINGS AND ECONOMIC VIABILITY STUDIES	48
CONCLUSIONS	50

CAPÍTULO 4. REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA COMO FUENTE DE NUTRIENTES PARA EL CRECIMIENTO DE FLORES DE INTERÉS COMERCIAL EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS

4.1. METODOLOGIA:	51
4.1.1. ÁREA DE ESTUDIO	51
4.1.2. MATERIAL VEGETAL	53
4.1.3. SUSTRATOS DE CULTIVO	57
4.1.4. DISEÑO EXPERIMENTAL	57
4.1.5. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO VEGETAL	60
4.1.6. TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS	62
4.1.7. PARÁMETROS PRODUCTIVOS (ÍNDICES DE CRECIMIENTO)	64
4.1.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	65

CAPITULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. PARÁMETROS DE CRECIMIENTO	66
5.1.2. SNAPDRAGON (A. MAJUS)	70
5.2. ANÁLISIS DE TEJIDOS VEGETALES	80
5.3. PARÁMETROS PRODUCTIVOS	102
5.4. CALIDAD DE AGUA	109

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA

119

6.1. METODOLOGÍA	119
6.1.1. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA HIDROPÓNICO	119
6.1.2. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA	123
6.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	126
6.2.1. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA	126
6.2.2. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA	134
6.2.3. ANÁLISIS DE RIESGOS Y VENTAJAS	138
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	142
CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES	143
CAPÍTULO 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144
ANEXOS.	170
ANEXO 1. CAN RECLAIMED WATER BE USED FOR SUSTAINABLE FOOD PRODUCTION IN AQUAPONICS?	170
ABSTRACT	170
INTRODUCTION	171
TRADITIONAL AQUAPONICS	172
USE OF WASTEWATER IN AGRICULTURE AND HYDROPONICS	176
USE OF WASTEWATER IN AQUACULTURE	177
AQUAPONICS WITH RECLAIMED WATER	180
CONCLUSION	184
REFERENCES	184
ANEXO 2.	193

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Types of hydroponic systems (modified from https://originhydroponics.com/hydroponics-guide/).....	34
Figura 2. Ubicación Facultad de Ciencias Marinas de la UABC (A y B) y del domo demostrativo (A y C) en la Sede Central de la UABC, en donde se llevó a cabo el montaje de los sistemas hidropónicos empleados para el cultivo de dos especies de flores ornamentales. Las imágenes A y B fueron tomadas de http://fiad.ens.uabc.mx/contacto/mapa_grande.jpg . La imagen C es de autoría de Georges Seingier.	52
Figura 3. PTAR El Sauzal y ubicación geográfica de la PTAR Sauzal, en donde se observan dos pasos del proceso de tratamiento del ART: el tanque de desinfección (A) y el estaque de aireación (B). Ubicación geográfica de la Facultad de Ciencias Marinas – UABC y de la PTAR (C), en donde tuvo lugar el experimento. Fuente de las imágenes A y B: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/P1-Saneamiento%20en%20Ensenada,%20Baja%20California.pdf	53
Figura 4. Diseño experimental planteado. Dos tipos de flores: girasol (<i>H. annuus</i>), snapdragon (<i>A. majus</i>), tres tratamientos/tipos de agua: ART (agua residual tratada sin adición de fertilizantes), ARTc (agua residual tratada con adición de fertilizantes) y SN (solución nutritiva Steiner) y dos sustratos de cultivo: Hydroton® y Turba-Peat moss ProMix®.	58
Figura 5. Diseño experimental esquemático. Dos especies de flores: <i>H. annuus</i> y <i>A. majus</i> , dos sustratos: Hydroton® y Turba ProMix® y tres tipos de agua: ART, ARTc y SN. Se montan tres sistemas iguales, uno para cada tipo de agua.	59
Figura 6. Imagen descriptiva del girasol (<i>H. annuus</i>), en donde se indican los parámetros que fueron evaluados durante el desarrollo de la experimentación. A) Yema terminal, B) Bráctea, C) Área externa de la flor, D) Diámetro interno de la flor, E) Inicio floral, F) Diámetro del tallo, G) Longitud de tallo.	61
Figura 7. Imagen descriptiva de snapdragon (<i>A. majus</i>), en donde se indican los parámetros que fueron evaluados durante el desarrollo de la experimentación. A) Diámetro de tallo, B) Longitud de tallo, C) Longitud inflorescencia.	61
Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes del girasol (<i>H. annuus</i>) donde se aprecia el número de flores por planta (# Flores·planta ⁻¹) durante el estadio vegetativo #3, cultivadas en Solución Nutritiva Steiner (SN). Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.....	66
Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes del girasol (<i>H. annuus</i>) donde se aprecia la longitud total de las plantas durante el estadio vegetativo # 2. Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.	67
Figura 10. Valores promedio y desviación estándar del diámetro de tallo (cm) durante el estadio vegetativo #1, en plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).....	71

Figura 11. Valores promedio y desviación estándar de la longitud de la raíz (cm) durante el estadio vegetativo #2 de plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).....	73
Figura 12. Valores promedio y desviación estándar del número de hojas por plantas (# Hojas· planta ⁻¹) durante el estadio vegetativo #2 de plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	74
Figura 13. Valores promedio y desviación estándar del número de flores por plantas (# flores·planta ⁻¹) durante el estadio vegetativo #4 de plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivadas con ART, ARTc y SN y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	74
Figura 14. Valores promedio y desviación estándar del peso fresco (gramos) durante el estadio vegetativo #4, en plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).....	78
Figura 15. Valores promedio y desviación estándar del peso orgánico (gr) durante el estadio vegetativo #4 de plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).....	78
Figura 16. Valores promedio y desviación estándar de la longitud (cm) de la inflorescencia en el estadio 3 y para plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).....	79
Figura 17. Porcentajes promedio y desviación estándar de la absorción de Nitrógeno (N) en girasol (<i>H. annuus</i>) cultivados en ART, con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H) y en los 4 estadios vegetativos observados.....	81
Figura 18. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de Nitrógeno (N) en girasol (<i>H. annuus</i>) cultivados en ARTc, en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	82
Figura 19. Diagrama de cajas y bigotes del girasol (<i>H. annuus</i>) donde se aprecian valores porcentuales de la absorción de Nitrógeno (N) en girasol (<i>H. annuus</i>) cultivados en SN, con sustrato Hydroton® (H). Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.....	82
Figura 20. Porcentajes promedio y desviación estándar de la absorción de Nitrógeno (N) durante el estadio vegetativo #1, en plantas de girasol (<i>H. annuus</i>) cultivadas en ART, ARTc y SN, y con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	83
Figura 21. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de Nitrógeno (N) durante el estadio #2, en girasol (<i>H. annuus</i>) cultivados en ART, ARTc y SN, con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	84
Figura 22. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de Nitrógeno (N) durante el estadio #3, en girasol (<i>H. annuus</i>) cultivados en ART, ARTc y SN, con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	84

Figura 23. Porcentaje promedio y desviación estándar de la absorción de Nitrógeno (N) durante el estadio vegetativo #4, en plantas de girasol (<i>H. annuus</i>) cultivadas en ART, ARTc y SN, y con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	85
Figura 24. Porcentaje promedio y desviación estándar de la absorción de Nitrógeno (N), en plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivados en ART y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).....	86
Figura 25. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de Nitrógeno (N), en snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivados en ARTc con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	86
Figura 26. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de Nitrógeno (N), en snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivados en SN con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	87
Figura 27. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N), en snapdragon (<i>A. majus</i>) durante el estadio # 1, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	87
Figura 28. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de Fósforo (P), en girasol (<i>H. annuus</i>) durante el estadio #1, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	88
Figura 29. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de Fósforo (P), en girasol (<i>H. annuus</i>) durante el estadio 4, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	89
Figura 30. Diagrama de cajas y bigotes del girasol (<i>H. annuus</i>) donde se aprecian valores porcentuales de la absorción de fósforo (P) en girasol (<i>H. annuus</i>) cultivados en ARTc. Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.8.....	89
Figura 31. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en snapdragon (<i>A. majus</i>) durante el estadio # 1, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	90
Figura 32. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en snapdragon (<i>A. majus</i>) durante el estadio # 3, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	91
Figura 33. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en snapdragon (<i>A. majus</i>) durante el estadio # 4, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).	91
Figura 34. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de Nitrógeno (N) en plantas de girasol (<i>H. annuus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Promix® (S).	92

Figura 35. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de Nitrógeno (N) en plantas de girasol (<i>H. annuus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).....	93
Figura 36. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de nitrógeno (N) en plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato ProMix® (S).	93
Figura 37. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de nitrógeno (N) en plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).....	93
Figura 38. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de Fósforo (P) en plantas de girasol (<i>H. annuus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato ProMix® (S).	94
Figura 39. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de Fósforo (N) en plantas de girasol (<i>H. annuus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).....	94
Figura 40. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de Fósforo (P) en plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato ProMix® (S)	94
Figura 41. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de fósforo (f) en plantas de snapdragon (<i>A. majus</i>) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).....	95
Figura 42. Distribución relativa del total de N en valor porcentual en los Sistemas Hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados con tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos de cultivo: ProMix® e Hydroton®. La distribución de N fue calculada con base en la biomasa final de las plantas, el volumen total del agua y la cantidad total de N usada durante el experimento.	100
Figura 43. Distribución relativa del total de P en valor porcentual en los Sistemas Hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados con tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos de cultivo: ProMix® e Hydroton®. La distribución de P fue calculada con base en la biomasa final de las plantas, el volumen total del agua y la cantidad total de P usada durante el experimento.	100
Figura 44. Diagrama de cajas y bigotes del Índice de Calidad (IC) para girasol (<i>H. annuus</i>) en el estadio 4. Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.	103
Figura 45. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) en el estadio 3 de girasol (<i>H. annuus</i>) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.....	104

Figura 46. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) en el estadio 4 de girasol (<i>H. annuus</i>) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.....	104
Figura 47. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) en el estadio 3 de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.....	105
Figura 48. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) en el estadio 4 de snapdragon (<i>A. majus</i>) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.....	105
Figura 49. Valores semanales del pH medido en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.....	109
Figura 50. Valores semanales de la Conductividad eléctrica (CE) medida en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes	110
Figura 51. Valores semanales del Amonio (N-NH_4^+) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.....	112
Figura 52. Valores semanales de Nitrito (N-NO_2^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.....	112
Figura 53. Valores semanales de Nitrato (N-NO_3^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.....	113
Figura 54. Valores semanales de Sulfato (SO_4^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.....	115
Figura 55. Valores semanales de fosfato (P-PO_4^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.....	116
Figura 56. Valores semanales de Cloruro (Cl^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos	

sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.....	116
Figura 57. Costos de operación en valor porcentual desglosados para el girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas de producción tradicional.	128
Figura 58. Costos de operación en valor porcentual desglosados para el girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos con ART y sustrato Hydroton®.....	129
Figura 59. Costos de operación en valor porcentual desglosados para el Ggirasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos con ARTc y sustrato Hydroton®.....	129
Figura 60. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos con SN y sustrato Hydroton®.....	130
Figura 61. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas de producción tradicional.	130
Figura 62. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos con ART y sustrato Hydroton®.....	131
Figura 63. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos con ARTc y sustrato Hydroton®.....	131
Figura 64. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos con SN y sustrato Hydroton®.....	132

LISTA DE TABLAS

Table I. Some examples of studies with hydroponics with reclaimed water including type of water, type of hydroponic system and type of crops employed.	40
Tabla II. Solución Steiner propuesta en 1984, para la producción de diferentes especies de plantas. Esta solución proporciona las concentraciones base para complementar el ART y para desarrollar la SN.	54
Tabla III. Caracterización de los tipos de agua empleados al inicio del experimento. En el ARTc y SN los valores corresponden a la tabla de resultados del software Hydrobuddy, por medio del cual se calcularon las cantidades de fertilizantes a adicionar al ART y al agua dulce para riego, respectivamente, para cumplir con las concentraciones establecidas en la solución de Steiner.	55
Tabla IV. Reactivos usados para alcanzar las concentraciones establecidas en la Solución Steiner para ARTc y SN. Se diferencia entre grado reactivo y agrícola de cada compuesto, al igual que el grado de pureza de cada uno de estos.	55
Tabla V. Reactivos y cantidad de reactivo adicionado al ARTc y SN durante la experimentación.	56
Tabla VI. Evaluación financiera a lo largo de 8 años, para producción en sistemas tradicionales con ART y en sistemas hidropónicos con diferente suministro de agua y nutrientes (ART, ARTc y SN) para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) y snapdragon (<i>A. majus</i>).	127
Tabla VII. Estimación de datos requeridos para la cuantificación de la Huella Hídrica Azul (HHA) para los tratamientos ART, ARTc y SN. La evapotranspiración determinada por medio de la ecuación de Blaney-Criddle. Kc: coeficiente de cultivo, ETc: evapotranspiración de cultivo.	136
Tabla VIII. Cuantificación de la huella hídrica azul (HHA) para los tratamientos ART, ARTc y SN. UAC: uso de agua azul, HHA: componente de agua azul en la huella hídrica.	137
Tabla IX. Listado de ventajas, desventajas, riesgos y oportunidades de los sistemas hidropónicos con ART.	138
Tabla X. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.	193
Tabla XI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.	194
Tabla XII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.	195
Tabla XIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.	197
Tabla XIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción de Girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos en sistemas hidropónicos.	198
Tabla XV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.	198

Tabla XVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	200
Tabla XVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos	201
Tabla XVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	202
Tabla XIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	203
Tabla XX. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos	204
Tabla XXI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.....	205
Tabla XXII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos	206
Tabla XXIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.....	207
Tabla XXIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.....	208
Tabla XXV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.	209
Tabla XXVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en Sistemas Hidropónicos.....	210
Tabla XXVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	211
Tabla XXVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.	212
Tabla XXIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	213
Tabla XXX. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto uso de SN para la producción snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	214
Tabla XXXI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de uso de SN para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.....	215
Tabla XXXII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de uso de SN para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.....	216
Tabla XXXIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de uso de SN para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.....	218

Tabla XXXIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de uso de SN para la producción de girasol (<i>H. annuus</i>) en sistemas hidropónicos.....	219
Tabla XXXV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de uso SN para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	220
Tabla XXXVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	221
Tabla XXXVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.	222
Tabla XXXVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	224
Tabla XXXIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (<i>A. majus</i>) en sistemas hidropónicos.....	225
Tabla XL. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (<i>H. annuus</i>).....	226
Tabla XLI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (<i>H. annuus</i>).	227
Tabla XLII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (<i>H. annuus</i>).....	229
Tabla XLIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (<i>H. annuus</i>)	230
Tabla XLIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (<i>H. annuus</i>).	231
Tabla XLV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (<i>A. majus</i>).	232
Tabla XLVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (<i>A. majus</i>).....	233
Tabla XLVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (<i>A. majus</i>).	234
Tabla XLVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (<i>A. majus</i>).....	235
Tabla XLIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (<i>A. majus</i>).....	236

LISTA DE FÓRMULAS

Ecuación 1 63

Ecuación 2 63

Ecuación 3 65

Ecuación 4 65

Ecuación 5 119

Ecuación 6 119

Ecuación 7 120

Ecuación 8 120

Ecuación 9 123

Ecuación 10 124

Ecuación 11 124

Ecuación 12 124

Ecuación 13 125

Ecuación 14 125

Ecuación 15 126

PUBLICACIONES

Como resultado del desarrollo de esta tesis, se cuenta con los siguientes productos académicos:

Capítulo 3: Publicaciones.

Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L., Correa-Reyes, G., and Daesslé, L. W. (2020). Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. *Water Environmental Journal*. 35, 166–180. doi: 10.1111/wej.12617

Capítulo 4: Presentación en Congresos.

- 1) Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L., Correa-Reyes, G. (2022). Uso de agua residual tratada en el cultivo hidropónico de flores ornamentales. 6th Conference IWA-YWP México. 23 - 27 de mayo 2022. Culiacán, México.
- 2) Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L., Correa-Reyes, G. (2021). Hidroponía con agua residual tratada: una alternativa de producción. 2nd Latin American & Caribbean Young Water Professionals Conference. 08 – 11 de noviembre 2020. Manizales, Colombia.
- 3) Cifuentes-Torres, M.L., Mendoza- Espinosa, L.G. (2019). El reúso de agua residual tratada como fuente de nutrientes para el crecimiento de flores de interés comercial en sistemas hidropónicos. V Encuentro de Estudiantes de Posgrado de Agua en México. 13 - 14 de junio 2019. Monterrey, México.

Anexo 1.

Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L., Correa-Reyes, G. (2021) Aquaponics with reclaimed water for sustainable food production in urban and periurban areas, challenges, and opportunities. *Frontiers in Plant Science*, section Crop and Product Physiology.12: 1 – 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984>

CAPÍTULO 1. INTRODUCCION Y SINOPSIS

En el contexto del uso eficiente de recursos y del reciclaje de nutrientes para producción agrícola, y, teniendo como principal enfoque el consumo de agua de manera ineficaz por sectores como la agricultura, se planteó la evaluación del efecto del Agua Residual Tratada (ART) en sistemas hidropónicos sobre el crecimiento de dos flores ornamentales. La investigación en plantas ornamentales es especialmente atractiva, debido al alto valor que puede ser obtenido en su comercialización y a que se consideran el tipo de cultivo más rentable por volumen de agua. Adicionalmente, en México la floricultura es una actividad agrícola que tiene un importante impacto en la economía ya que, según Ramírez y Avitia (2017), la demanda de flores y plantas de ornato asciende a 95,000 toneladas aproximadamente, distribuyendo su producción en 21,000 ha, ubicadas en los estados de: México, Puebla, Morelos, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí y Baja California, principalmente. Dentro de las flores que más se producen se encuentran rosas, claveles, crisantemos, gerberas, girasoles y follajes, destacándose los *Limonium* sp. y las statices. Además, en términos de aceptación por parte de los consumidores, es más práctico, iniciar la investigación del uso de ART en plantas no comestibles, en pro de la sanidad, teniendo en cuenta los riesgos biológicos asociados al uso de este tipo de aguas.

Las flores empleadas para la investigación fueron snapdragon (*Antirrhinum majus*) y girasol (*Helianthus annuus*), debido a que se ha reportado su tolerancia a niveles de salinidad superiores a los $3.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Esto es especialmente importante por las concentraciones de sales reportadas en el ART empleada, las cuales pueden limitar la disponibilidad de los nutrientes para plantas por eventos de secuestro o competencia iónica a altas salinidades (Taiz y Zeiger, 2006).

El snapdragon es una especie de reciente ingreso en el mercado mexicano de gran interés comercial, debido a que cuenta con una variedad de colores y al ser una especie cíclica puede obtenerse producto durante todo el año. El girasol, por su parte, además de producirse durante todo el año, puede cultivarse a campo abierto y, al ser una especie de rápido crecimiento, genera producto antes que otras especies. Además, se ha observado que es una planta de fácil adaptación a diversas condiciones climáticas y recientemente su uso como ornamental ha tenido una buena aceptación ante la comunidad de consumo (Acevedo-Rico, 2017), llevando a una producción para 2017 de $10,000 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ (Torres-Ávila, 2021).

El uso de tecnologías más sostenibles como la hidroponía contribuye a la exploración e implementación de sistemas de diversos tipos, en los que el uso de numerosos sustratos o medios

de cultivo ha tenido lugar, debido, principalmente a la importancia de este como reemplazo del suelo agrícola. Algunos de los sustratos más empleados son la fibra de coco, la lana de roca, la grava, la perlita y la arcilla expandida (Li *et al.*, 2018). La elección del sustrato depende principalmente de la planta cultivada, puesto que las necesidades de soporte, aireación, retención de agua y de nutrientes y el pH, varían entre especies (Patil *et al.*, 2020). De igual manera, algunos medios de cultivo pueden favorecer el crecimiento vegetal al promover el desarrollo radicular, el intercambio de iones y de gases, y propiciar el ambiente apto para el crecimiento de microorganismos (Abdul *et al.*, 2022).

Para el presente experimento se usó la arcilla expandida o LECA, por sus siglas en inglés (Lightweight Expanded Clay Aggregate), la cual es un tipo de arcilla peletizada y cocida a temperaturas que ascienden los 1200 °C. Los granos que se forman de este proceso tienen diámetros que van de 4 – 10 mm (Sharifnia *et al.*, 2013). Este producto se caracteriza por su bajo costo y alta porosidad, además de ser considerado natural y sostenible con el medio ambiente (Amiri *et al.*, 2011). Reportes previos de su uso en hidroponía, han demostrado un mayor crecimiento y rendimiento en plantas como lechuga (*L. sativa*) (Abdul *et al.*, 2022), pensamiento (*Viola×wittrockiana*), hierba doncella (*Catharanthus roseus*) y lirio asiático (*Longiflorum×Asiatic lilies (Lilium)* var. “Pavia”) (A'saf *et al.*, 2020). Adicionalmente, se ha señalado que hay una mayor disponibilidad de nutrientes y agua en los sistemas de cultivo que emplean este sustrato, además de que proporciona área suficiente para la fijación de diferentes comunidades de microorganismos que llevan a cabo procesos de amonificación, nitrificación y desnitrificación (Abdul *et al.*, 2022). Muhl *et al.* (2020) reportó que dentro de los minerales constitutivos de este sustrato se encuentran el óxido de silicio (SiO₂), el óxido de aluminio (Al₂O₃) y el óxido de hierro (Fe₂O₃), los cuales son minerales que podrían beneficiar a las plantas, al ser micronutrientes necesarios para su desarrollo y crecimiento óptimo.

Como sustrato control, se empleó la turba, sustrato orgánico de origen vegetal, también empleado con frecuencia por su alta capacidad de retención de agua (más de 10 veces su peso en agua) y buena estructura para el crecimiento del sistema radicular. Adicionalmente, tiene un bajo contenido mineral y pH de 4.5 – 5.0, por lo que permite que los fertilizantes que se adicionen estén disponibles para la nutrición de las plantas (Olu *et al.*, 1985; Orsini *et al.*, 2017).

De esta manera, se implementaron tres sistemas hidropónicos: uno con ART cruda, otro con ART complementada con nutrientes teniendo como referencia la solución nutritiva de Steiner (1980) y otro con solución nutritiva de Steiner (1980) como control. De igual manera se evaluaron dos tipos de sustratos, la arcilla expandida o LECA y Turba, y finalmente, se emplearon dos flores de interés

comercial, el snapdragon y el girasol. Las preguntas de investigación planteadas fueron: ¿Cuál es el efecto del ART en el crecimiento y desarrollo de snapdragon y girasol, cultivadas en sistemas hidropónicos? Y, ¿puede el ART aportar los nutrientes necesarios para llevar a las flores objeto de estudio a talla comercial?

Para resolver las preguntas planteadas inicialmente en el capítulo 3 se hace una revisión bibliográfica en inglés, en donde se abordó el uso de agua residual en agricultura, la hidroponía y el uso de agua residual en hidroponía. Estos planteamientos se basan en datos reportados en literatura en donde se ha estimado que las aguas residuales pueden contener aproximadamente $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, $60 \text{ Kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ and $150 \text{ Kg K ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, valores superiores en promedio a las tasas de aplicación de estos fertilizantes en algunos países de América Latina (Chile: $168 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, México: $38 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Brazil: $32 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ and Nicaragua: $18 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) (Winpenny et al., 2013).

Adicionalmente, la eficiencia de las plantas en el tratamiento de aguas residuales ha sido demostrado, obteniéndose porcentajes de remoción cercanos al 80% para N y P, y superiores al 85% para COD, DBO y SST (Boyden y Rababah ,1996; Rababah y Ashbolt, 2000; Vaillant *et al.* 2005). Pese a esto, Morillo *et al.* (2004) reportaron que en plantas frutales regadas con aguas residuales tratadas se podía evidenciar síntomas de deficiencias nutricionales tales como clorosis, necrosis, enanismo y alteraciones morfológicas (Morillo *et al.*, 2004), esto puede deberse a dos factores: concentración de micronutrientes y salinidad del agua (Taiz y Zeiger, 2006). En el primer caso se ha reportado que las aguas residuales domésticas pueden contener concentraciones de Fe, Cu y Mn menores a las requeridas por plantas ornamentales como el girasol y el snapdragon. Por ejemplo, el Fe está presente en las aguas residuales en concentraciones de menos de $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, siendo necesario un suministro de agua de riego que contenga $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de este elemento. Respecto al Mn, el valor promedio registrado en aguas residuales es de $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, valor 10 veces menor al necesario (Mujeriego, 1990).

Respecto a la salinidad, se ha reportado que esta altera el transporte de iones y su contenido en los tejidos de las plantas (Cramer, 1997). De hecho, se ha estipulado que, en condiciones de exceso de sales, la concentración de Na aumenta, lo que ha supuesto una problemática en términos nutricionales, principalmente por la competencia con otros iones, como el potasio y el calcio (Cramer, 1997; Naeini *et al.*, 2007). En el caso del K, la semejanza en la estructura de estos iones lleva a que los sitios de transporte y unión de K sean ocupados con Na, inhibiendo los procesos metabólicos en los que el K es un elemento primordial (Maathuis y Amtmann, 1999). En el caso del Ca, el exceso de Na en el agua ocasiona una reducción en la absorción de Ca, llevando a una

alteración de la relación Ca/Na, necesaria en procesos como el intercambio de gases, por interferir en la apertura estomática (Cramer, 1997). Finalmente, también se ha reportado que la presencia de NaCl limita la absorción de otros nutrientes como Cu, Zn y Fe, ya sea por interferencia en la interferencia en el transporte de iones a través de la membrana plasmática o por inhibición del crecimiento de la raíz (Pares y Basso, 2013).

En el capítulo 4 se presenta el seguimiento a los parámetros de crecimiento longitud de raíz y tallo, diámetro de raíz y tallo, número de hojas, número de flores, diámetros externos e internos de las flores (exclusivamente para girasol), longitud de la inflorescencia (exclusivamente para snapdragon), peso fresco, peso seco y peso orgánico. Igualmente, se calcularon los parámetros productivos tasa de crecimiento absoluto (TCR) e índice de calidad (IC), con la finalidad de determinar en términos comerciales la viabilidad de las flores obtenidas. Por otra parte, se registró y analizó la absorción de nitrógeno y fósforo en los tejidos vegetales durante los diferentes estadios de crecimiento (estadios vegetativos y reproductivos).

Y, finalmente, para tener un acercamiento a escenarios más reales, en el capítulo 5 se describe un análisis financiero en donde se compararon los sistemas de producción tradicional e hidropónico, se establece la huella hídrica azul y se plantean riesgos y amenazas del uso de ART para el cultivo en hidroponía.

Como producto de este estudio también se incluye una sección en donde se plantean las conclusiones (capítulo 6), entre ellas que el uso de ART en hidroponía para la producción de girasol y snapdragon es viable en términos biológicos, ambientales y económicos, ya que este tipo de agua proporciona una calidad nutricional aceptable para llevar a plantas estándares de comercialización internacional. De igual manera, el reúso del sustrato tipo arcilla expandida favorece el retorno de la inversión, obteniéndose mejores rendimientos para Snapdragon que para girasol. Y se observó, en términos ambientales que hay un ahorro de 87% de agua al emplear ART en sistemas hidropónicos. Y, con base en las experiencias obtenidas se plantearon algunas recomendaciones al finalizar el documento (capítulo 7). Finalmente, todos los estudios previos y publicaciones están incluidos en la sección de referencias bibliográficas (capítulo 8).

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Evaluar la absorción de nutrientes, el crecimiento y el desarrollo de dos especies de plantas florales: snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) y girasol (*Helianthus annuus*), cultivadas en sistemas hidropónicos con agua residual tratada.

Objetivos específicos

- Analizar el rendimiento de tres tipos de agua con diferente suministro de nutrientes (solución nutritiva, agua residual tratada complementada y agua residual tratada sin complementar) sobre el crecimiento y desarrollo de dos especies de flores de interés comercial.
- Determinar el requerimiento, la absorción y acumulación de nutrientes en sistemas hidropónicos, durante el desarrollo de los estadios fenológicos de dos especies de flores de interés comercial.
- Estimar y analizar la factibilidad económica y ambiental de la implementación de sistemas hidropónicos para la producción de dos especies de flores de interés comercial.
- Estimar la Huella Hídrica Azul en sistemas hidropónicos y comparar los resultados obtenidos con sistemas de producción tradicionales.

Hipótesis

Hipótesis de investigación:

El agua residual tratada proporciona los nutrientes necesarios para obtener un crecimiento comercial aceptable de las plantas, contribuyendo a eliminar el exceso de elementos como N y P del agua.

Hipótesis alternativa:

El agua residual tratada no proporciona los nutrientes necesarios para llevar a las flores objeto de estudio a un crecimiento apto para su comercialización en el exterior, por lo que hay que suplementar el agua con macronutrientes como el nitrógeno y el fósforo y algunos micronutrientes. Adicionalmente, hay una fuerte competencia entre el sodio y el calcio y potasio, por lo que es necesario realizar enmiendas nutricionales que permitan la mejor absorción de calcio y potasio.

CAPÍTULO 3. REVISIÓN DE LITERATURA

Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities

Cifuentes-Torres, Liliana, Mendoza-Espinosa, Leopoldo G., Correa-Reyes, J. Gabriel, Daesslé, L. Walter. 2020. Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. *Water and Environment Journal*. 35 (1): 166 – 180. <https://doi.org/10.1111/wej.12617>

ABSTRACT:

Hydroponics is a method of crop production that has been successfully used for the growth of vegetables and flowers. It uses a nutrient solution and generally controlled environmental conditions which makes it more energy intensive, yet more productive than conventional agriculture. Hydroponic systems can be used as a treatment process for partially treated wastewater or reclaimed water (RW) before its release to the environment, as plants have the ability to uptake nutrients, toxic metals and emerging contaminants. The present review has the aim to look into the advantages of hydroponics and evaluate the success of using RW as a nutrient solution. It was found that many examples exist of successful experiments: however, full-scale examples are still limited. With the recent interest in vertical farming and the production of legal cannabis, interest in hydroponics has increased and the use of RW as a nutrient solution may finally be economically viable.

INTRODUCTION

Hydroponics has been used successfully to grow a variety of crops such as lettuce, tomato, cucumber, herbs, and many types of flowers (Asao, 2012). Its advantages over conventional production systems are: faster growth, higher productivity, easier handling, greater water efficiency (Barbosa et al., 2015) and lesser use of fertilizers (Rana et al., 2011; da Silva Cuba et al., 2015). In hydroponics, the concentration of nutrients can be controlled in the aqueous solution making it easier to observe the symptoms of nutrient deficiency or toxicity in plants (Adrover et al., 2013; da Silva Cuba et al., 2015).

Hydroponics has proven to be useful in many fields such as in toxicological studies on the accumulation and destination of emergent contaminants in plants, the implementation of native and exotic crops with experimental, commercial, or medical purposes, as well as the cultivation of traditional crops like vegetables and ornamental plants.

In recent years it has been demonstrated that hydroponics can be used as a method for the treatment of wastewater and thus, reducing the pollutants load to the environment (Snow and Ghaly, 2008; Al-karaki, 2011; Rana et al., 2011). Because of its high nutrient content, reclaimed water (RW or treated wastewater) can be a source of water for hydroponic systems. With special precautions, by combining RW with hydroponic production it is possible to obtain safe and viable agricultural produce, and to provide an additional treatment to the RW prior to its discharge to the environment. This is of special importance in arid regions of the world, where fresh water resources are rapidly being depleted and wastewater is discharged into the ocean and other water bodies without any further social or environmental benefit.

The present review includes the history of hydroponics, its different uses, advantages and disadvantages and a discussion about the future of hydroponics as a method for organic produce cultivation using RW, including the new market for legal cannabis. The objective is to look into the advantages of hydroponics and evaluate the success of using RW as a nutrient solution. Hydroponic systems here are defined as soil-less systems used for the production of vegetables, fruits and ornamental flowers.

3.1. History of hydroponics

The hydroponic is a technique production employed for several civilizations since many years ago; in Babylonia terraces (605 – 562 BC), the plants were already irrigated with water from the Euphrates river. By the year AD 40, the Aztecs in Tenochtitlan used a system called “*chinampas*”, which are man-made islands floating over water in which the roots are in direct contact with the water (Gonzalez-Carmona and Torres-Valladares, 2014). To the present date, *chinampas* produce 40,000 t/yr of vegetables and flowers (Arano, 2007), and its cultural significance is such, that FAO named it a globally important Agricultural Heritage System (World Health Organization, 2016).

The first report on the use of hydroponics as an alternative treatment for the removal of nutrients from wastewater was in 1993 by Furukawa and Fujita (1993). The experiment consisted in growing water spinach (*Ipomoea aquatica*), in substrate of porous concrete for the treatment of synthetic

wastewater made with glucose, ammonium sulphate and phosphoric acid. The resulting treated wastewater was used for the irrigation of tomato. The removal of nutrients obtained by the water spinach was 6.72 g of N m⁻² and 1.86 g of P m⁻². Boyden and Rababah (1996) used domestic wastewater for cultivating lettuce (*Lactuca sativa*) and obtained crops without growth deficiencies and the removal of 77% of P and 80% of N from the wastewater.

3.2. Types of the circulation systems in hydroponics

Hydroponic systems can be classified into two large groups (Figure 1): (a) open systems, in which the nutrient solution is applied directly to the roots and used only once, and (b) closed systems, in which the nutrient solution is recycled:

3.2.1. Open systems

In open systems the roots are in contact with the nutrient solution either permanently or occasionally. The nutrient solution and the media substrate is used only once, meaning that it is not recirculated or recycled. Some advantages of the open systems are its simpler application of the nutrient solution and the reduction of the risk of infection on plants (Jones, 2005).

3.2.2. Closed systems

In closed system, the nutrient solution is applied to the roots of the plant and is collected in a container at its end to return periodically to the crop (most of hydroponic systems fall into this group). Plants grow either in liquid solution or on a solid substrate. These substrates can be of organic nature (such as sawdust, rice husk, coconut fibre and charcoal) or inorganic (sand, gravel, pumice or grounded brick). Water and nutrients are used in an optimal manner yet the main disadvantage is dependency on electricity (Lee and Lee, 2015).

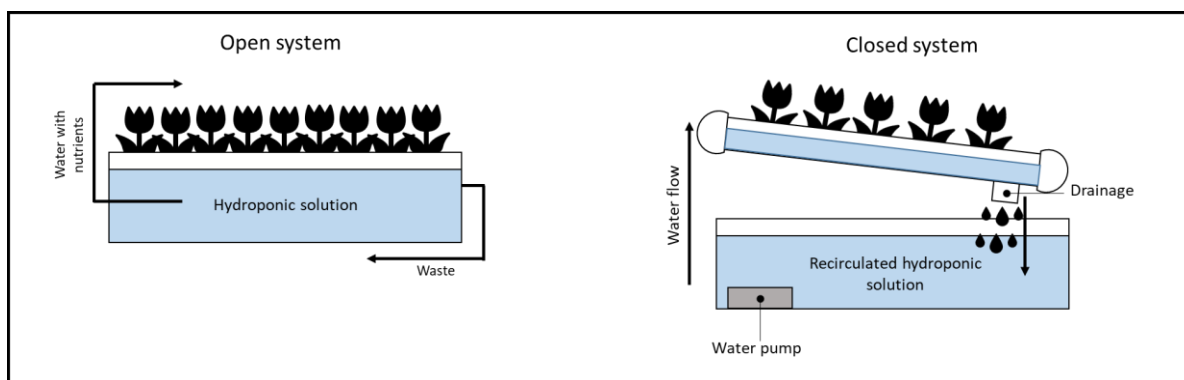


Figure 1. Types of hydroponic systems (modified from <https://originhydroponics.com/hydroponics-guide/>).

3.3. Type of hydroponics and soilless systems

Some types of hydroponic systems commonly use are: the wick or passive system, the deep water culture, the nutrient film technique and the media bed based.

Wick or passive system

The wick or passive system is considered to be a less expensive technique in which there is no recycling of the nutrient solution but rather the plants absorb the solution through a system that uses the capillary capacity of the roots and fibres that transport the water to the plants (Ferrarezi and Testezlaf, 2016). This system is used mainly in small-scale production and is not recommended for crops with a long-life cycle (Lee and Lee, 2015). This type of system can be used with open or closed circulation.

Deep water culture

The technique of the deep-water culture system was the precursor to the majority of the systems currently used. It consists of an aeration and pumping system and a platform in which the crops grow (Hoagland and Arnon, 1950). The continuous aeration allows for the roots to be submerged within the nutrient solution. The oxygen concentration, conductivity and pH have to be controlled to optimise plant growth (Jones, 2005). This type of system can be used with open or closed circulation.

The Nutrient film technique

One of the most common techniques in closed hydroponic systems is the Nutrient Film Technique (NFT), developed by Allan Cooper in 1960. In this technique a thin layer with the nutrient

solution is provided to the roots, which also allows for the necessary oxygen (Morgan, 1999). Originally the plants were grown on rock wool in containers made of opaque polyethylene. Currently the NFT systems have been modified and use a variety of supporting media for plant growth. This type of system can be used with open or closed circulation although the latter are more common.

Media bed based

This system uses a tank or container filled with substrate. The crops are flooding with the nutrient solution and then draining it periodically (Buwalda *et al.*, 1994). This system requires constant supervision as a malfunction could cause dehydration of the plants in a short period of time. A limitation is the rapid dissemination of bacterial or fungal diseases on the roots (Lee and Lee, 2015).

3.1. Media Substrates in hydroponics

Many types of substrates exist for hydroponic systems. The most important characteristics in a media substrate is its water holding capacity (WHC), air filled porosity (AFP) and cation exchange capacity (CEC). The WHC/AFP depends on the interstitial spaces within the granule or fibre and the spaces generated between the granule or fibre (Keith, 2005). The CEC is the capacity of the substrate to adsorb or liberate interchangeable cations which are required for the growth of crops (Maher *et al.*, 2008).

The selection of the substrate will depend on the type of hydroponic system and the plants' requirements in terms of water, air and nutrition. Recently Awad *et al.* (2017) tested a hydroponics system using a nutrient film technique to evaluate the effectiveness of rice husk biochar (RB) alone or in combination with perlite (PL) as substrates for increasing the growth of leafy vegetables compared with that of PL. They found that the combination of PL and RB as a hydroponic growth substrate increased the yield of leafy vegetables by approximately 2-fold compared with that of plants grown in PL substrate alone.

Coconut fibre and coconut peat, for example, have the advantage of providing a good WHC (65.49%) (Kalaivani and Jawaharlal, 2019) and AFP (25%) (Ahmad *et al.*, 2004) which means that the medium is humid and plants can absorb the nutrient solution more easily. Additionally, they provide the roots with good gas exchange by avoiding flooding (Mahjoor *et al.*, 2016).

3.4. Nutrient solutions for plants and hydroponic systems

The nutrients needed for the growth and development of plants are C, O and H, which are obtained through air and water, and N, P, Si, B, K, Ca, Mg, Cl, Mn, Na, Fe, Zn, Cu, Ni) and Mo obtained from the soil (Taiz and Zeiger, 2006). Common fertilizers applied to the soil contain N, P, K and Ca as culturally they have been considered essential to the growth of plants (World Health Organization, 2019). In addition, due to the bad management of agricultural soils (i.e. changes in soil structure, monoculture, deforestation), many of these nutrients may not be present (Hernandez-Jimenez *et al.*, 2017). Therefore, the use of fertilizers has increased from 50 million tons (Mt) in 2008 to 200 Mt in 2018 (FAO, 2015), despite that crops only use half of the added fertilizers and the rest lixiviates to surface and groundwaters (Taiz and Zeiger, 2006).

In the 1970's, researchers developed a complete nutrient solution that clearly demonstrated the nutritional advantages in soil-less cultures and the adequate development of roots (Jones, 1982). From these studies, it was possible to establish the essential elements for the growth of plants (Asao, 2012). Years later, with the objective to classify the essential nutrients for a better understanding of their physiological functions and biochemical metabolism, Mengel y Kirkby (2001) proposed to classify them into 4 groups: (1) the major constituents of the organic matter of plants: C, H, O and N, (2) P, B and Si which are assimilated from the soil to form phosphates, borates and silica esters, and (3) K, Na, Ca, Mg, Mn and Cl, which are all assimilated as ions from soil and (4) Fe, Cu, Zn and Mo, assimilated from soils in ionic form or chelates and are basic for enzyme activity and electrons transfers within cells (Taiz and Zeiger, 2006). Currently, the most common nutrient solutions used are those proposed by Hoagland and Arnon, Hewitt, Cooper and Steine which is modified depending on climatic conditions and the type of water (Asao, 2012).

Salinity is a factor that greatly affects the growth of crops and needs to be closely monitored in hydroponic systems. Neocleous and Savvas (2016) conducted a study to establish empirical relationships between Na^+ /water and Cl^- /water uptake ratios and the concentrations of Na^+ and Cl^- in the root zone of melon grown in closed-loop hydroponic systems. This model can help develop a tool for the management of macronutrients and to develop management practices for greenhouse melon crops in areas characterized by poor quality irrigation water.

Knowledge concerning the processes underpinning the acquisition of nutrients and their allocation in the different tissues, also in the presence of these promising tools, is of fundamental importance. Currently there are well-studied and tested research areas whose results are commonly exploited in the soilless cultivation such as the NO_3^- management or the crop quality increase by

managing the electric conductivity of the solution (Sambo *et al.*, 2019). However, on the other side, there are other aspects more difficult to manage, related to the interactions among nutrients in their acquisition processes and nutrients dynamics (bio-geochemical cycles) in the hydroponic solution.

3.5. Uses for hydroponic systems

Hydroponics has been used for the study of nutrient requirements for a variety of crops such as tomato (Kageyama, 1991; Cornish, 1992), chrysanthemum (Shima *et al.*, 1995), rice, wheat, potato (McKeehen *et al.*, 1996), tobacco (Pearce *et al.*, 1999), spinach (Khan *et al.*, 1999), lettuce (Michalska and Asp, 2001) and gerbera (Savvas and Gizas, 2002). All these studies were undertaken to evaluate the optimum concentration of nutrients in solution to avoid stress by their lack or excess. The influence of physical variables such as pH, temperature and conductivity were also studied (Castro *et al.*, 2004; Pramanik *et al.*, 2000; Santos-Junior *et al.*, 2014).

The toxicity by metals in hydroponic systems has been evaluated by using Cd (January *et al.*, 2008; Niu *et al.*, 2007) Cu, Ni, As, Fe (January *et al.*, 2008) and Se (Garousi *et al.*, 2016) demonstrating the adsorption of these elements and the phytoremediation efficiency in ornamental and medicinal crops. Ignatius *et al.* (2014) used Mexican mint in hydroponic systems type NFT to evaluate the rhizofiltration of Pb at different concentrations. The study demonstrated that the plants have the capacity to accumulate Pb in the roots, without translocating it to stems or leaves. Bedabati and Gupta (2016) studied the capacity of water spinach to remove Pb from water and found out that this plant does not only store Pb in its roots, but also in stems and leaves, with the greatest accumulation in the roots. These results demonstrated that removal was faster in roots due to surface sorption that involves processes such as quelation, ion exchange and specific absorption. The removal process is completed with a biological component that includes intracellular intake, vascular deposition and sprout translocation to the shoots (Kumar *et al.*, 2017).

3.6. The use of wastewater for irrigation

The main goal for the treatment of wastewater is to protect the environment and public health. Currently, the treatment of wastewater generally encompasses physicochemical and biological processes that simulate and accelerate the processes that are undertaken in the natural environment. Untreated wastewater has been used for the irrigation of crops since the Bronze Age

(Salgot and Folch, 2018). By this means, natural water is substituted by wastewater, thus making it possible to allocate more natural water to domestic and urban uses (Toze, 2006). According to Winpenny *et al.* (2013) currently 20 million hectares (Mha) in 50 countries are irrigated with treated or untreated wastewater, which represent 10% of the worldwide irrigated land. A large number of studies have been published related to the use of wastewater for the irrigation of crops highlighting the advantages and disadvantages of such activity (Toze, 2006; Becerra-Castro *et al.*, 2015) in Latin America (Peasey *et al.*, 2000), Spain and Greece (Pedrero *et al.*, 2010) and South Africa (Mendoza-Espinosa *et al.*, 2019). The US Environmental Protection Agency (United States Environmental Protection Agency, 2012) and the World Bank (FAO, 2017; Winpenny *et al.*, 2013) established that RW is a viable source for crops irrigation due to the fact that it is a constant and reliable source and unaffected by climate variability and droughts. FAO (2017) reports that more than 80% of the wastewater produced worldwide returns to the ecosystems only partially treated or not treated at all. Countries with a strong economy have strong environmental norms that regulate the quality of reclaimed water to be used for irrigation. Reclaimed water is generally well treated and monitored to avoid public and environmental health risks (United States Environmental Agency, 2013). However, many developing countries lack the infrastructure to provide the required treatment (World Health Organization, 2006b).

The presence of nutrients such as N ($64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) and P ($6.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) in wastewater make them ideal for its use in the irrigation of leafy crops (Boyden and Rababah, 1996) as it requires the use of less fertilisers by farmers (Rana *et al.*, 2011). Leafy plants (lettuces, celery, cauliflower and broccoli) irrigated with RW had better growth than those irrigated with groundwater, due to the higher concentration of nutrients in the RW, $\text{Ca}^{2+} = 53 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{Mg}^{2+} = 22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{K}^{+} = 18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{NO}_3^{-}\text{-N} = 6.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{NH}_4^{+}\text{-N} = 4.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{PT} = 8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{SO}_4^{-} = 84.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (Sheikh *et al.*, 1987). In a study with vines, the use of reclaimed water produced plants with greater leaf growth, larger biomass and 20% higher grape production (Mendoza-Espinoza *et al.*, 2008). Libutti *et al.* (2018) obtained greater production of broccoli and tomato irrigated with reclaimed water. Reclaimed water gave better results when used for the irrigation of alfalfa in terms of leaf area, plant size and dry weight (Elfanssi *et al.*, 2018). Since 1998, $76,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ of reclaimed water are used for the irrigation of 4,800 hectares of lettuce, cauliflower, broccoli, artichokes and strawberries in Salinas Valley in California, USA. The safety of such activity was established after extensive studies on the degree of removal provided by wastewater treatment and soils on microorganisms and toxic metals (Vaux *et al.*, 2005).

The FAO estimates that an average wastewater would be able to provide approximately 300 kg of N per hectare per year ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$), 60 Kg P $\text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ and 150 Kg K $\text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ which are higher

than the common application rates of several Latin American countries such as Chile: 168 kg N ha⁻¹ y⁻¹, México: 38 kg N ha⁻¹·y⁻¹, Brazil: 32 kg N ha⁻¹·y⁻¹ and Nicaragua: 18 kg N ha⁻¹·y⁻¹), when applying an irrigation rate of 5,000 m³·ha⁻¹·y⁻¹ (Winpenny *et al.*, 2013).

However, due to its composition, the use of RW or raw wastewater can have some disadvantages like the presence of pathogens like bacteria, virus, protozoans and helminths (Peasey *et al.*, 2000; Toze, 2006). In Mexico, for example, it has been demonstrated that farmers and their families are at a greater risk of infectious diseases by their close contact with untreated wastewater (Jimenez, 2005). In the past decades the presence of trace metals and emerging contaminants in wastewater has received a lot of attention due to the fact that conventional wastewater systems are not effective for their removal. Their presence in soil is of concern because although their concentrations are usually very low, their adsorption to the plant is possible (Picó *et al.*, 2019). Conventional wastewater treatment provides a certain degree of emerging contaminants removal. Generally, their concentration is so low that they do not represent a risk for acute toxicity yet their chronic toxicity is yet to be established (United States Environmental Protection Agency, 2012).

The European Union (EU) has a strict legislation in order to guarantee that the use of RW for crops irrigation represents low risk for human health. Reclaimed water is categorized into 4 classes, according to the level of treatment it received. Class A can be used for all types of crops, including those that are eaten raw even when the edible portion was in direct contact with the RW. Types B and C are allowed for crops that are eaten raw but stipulates that the edible part must not to be in direct contact with the RW; crops that are processed and not for human consumption are also included in these categories. Finally, group D includes RW to be used for the irrigation of crops for seed production. Each class has its own water quality requirements such as levels of BOD, TSS, turbidity, fecal coliforms (FC) and type of treatment required. For example, Class A requires advanced disinfection and ≤ 10 CFU 100 ml⁻¹ of *E. coli*, BOD ≤ 10 mg L⁻¹ and turbidity ≤ 10 NTU (JRC, 2017).

The World Health Organization (WHO) and the Food and Agricultural Organization (FAO) have guidelines for the maximum levels of toxic metals in reclaimed water used for crops irrigation: 5.0 mg·L⁻¹ for Al and Pb; 2.5 mg·L⁻¹ for Li; 2.0 mg·L⁻¹ for Zn; 1.0 mg·L⁻¹ for F; 0.2 mg·L⁻¹ for Cu, Mn and Ni; 0.05 mg·L⁻¹ for Co; 0.1 mg·L⁻¹ for As, Be, Cd and Cr, and 0.01 for Mo and Se (World Health Organization, 2006a).

3.7. Hydroponic systems with wastewater

Boyden and Rababah (1996), Rababah and Ashbolt (2000), Vaillant et al. (2003), all highlight the potential of the use of wastewater in hydroponic systems that would achieve not only the further treatment of wastewater but extra income when used for the cultivation of economically relevant plants. Table 1 presents a list of studies with reclaimed water for crops irrigation.

Table I. Some examples of studies with hydroponics with reclaimed water including type of water, type of hydroponic system and type of crops employed.

Type of wastewater	Planted crops	Type of hydroponics system	References
Urban	Tomato, lettuce, Chinese cabbage, romaine lettuce	Deep flow technique	Chow <i>et al.</i> , 2001; Chui <i>et al.</i> , 2003; Lopez - Galvez <i>et al.</i> , 2016
Domestic	Sunflower	Semi – hydroponic	Santos-Junior <i>et al.</i> , 2014
Domestic	Lettuce, gerbera	Nutrient film technique	Damasceno <i>et al.</i> , 2010; da Silva-Cuba <i>et al.</i> , 2015; da Silva-Cuba <i>et al.</i> , 2018
Aquaculture effluent	Barley	Nutrient film technique	Snow <i>et al.</i> , 2008
Brewery effluent	Vetiver grass	Floating raft	Worku <i>et al.</i> , 2018
Anaerobic digestion process effluent	Silverbeet	Media bed based	Krishnasamy <i>et al.</i> , 2012
Domestic	Winter squash, green beans, sweet corn, eggplants, cherry tomatoes, various cut flowers, Citrus and olives, rosemary	Media bed based	Haddad and Mizyed, 2011

Many benefits have been reported with regard to the use of treated wastewater in hydroponic systems to produce vegetables, however, reduction in crop quality and shelf life may limit the use of these systems. (Magwaza *et al.*, 2020). da Silva Cuba *et al.* (2018) warn that although wastewater contains micro and macronutrients, the limited knowledge about the adequate addition of nutrients can limit plants' growth due to nutritional excess or limitation.

3.7.1. Wastewater quality

The use of hydroponic systems as a way to treat wastewater is based on numerous studies that have demonstrated its efficiency. For example, Boyden and Rababah (1996) and Rababah and Ashbolt (2000) carried out experiments in a system cultivating lettuce and achieved removal of 80% N, 77% P, 86% COD, 87% BOD and 99% TSS. Initial concentration of the reclaimed water was 64 mg·L⁻¹ of N, 6.2 mg·L⁻¹ of P, 195 mg·L⁻¹ of BOD, 366 mg·L⁻¹ of COD and 150 mg·L⁻¹ of TSS. Vaillant *et al.* (2005) obtained similar removal rates, achieving removals of 98%, 91% and 82% for TSS, BOD and COD, respectively. They attributed the greater removal to the filtration process undertaken in the roots of toloache and the degradation and mineralization of the elements. Nitrogen was removed in 96% P only 38%, probably due to the high load of P in the wastewater.

Hydroponic systems have been used for the treatment of wastewater with high concentrations of nitrates. Yang *et al.* (2008) obtained removal of NO₃ + NO₂ + N₂ of 91, 97 and 71% by changing the hydraulic retention times to 3, 2 and 1 d, respectively. They used a floating system that favoured denitrification by limiting dissolved oxygen concentration and promoted the interaction between roots and microorganisms needed for the nitrification process.

Yang *et al.* (2015) conducted a study to evaluate the efficiency of a hydroponic system cultivating water spinach to polish urine after partial nutrient recovery, to meet sewer discharge standard. It was found that plants cultivated in urine with 1:50 dilution ratio achieved the comparable growth characteristics (e.g., growth rate, leaf number, etc.) to those in the nutrient solution. This system also removed COD, TN and TSS and the effluent met the local sewer discharge standard.

Hydroponic systems have recently been used in experiments to establish the risk of emerging contaminants on human health. The lack of soil and organic matter that causes the adsorption of the contaminant being tested makes them ideal for experimentation (Kurwadkar *et al.*, 2017; Madikizela *et al.*, 2018). The phytotoxicity of carbamezapine (CBZ) on cucumbers grown in NFT systems was evaluated by Shenker *et al.*, (2011) who found phytotoxicity that in plants exposed to > 10,000 µg·L⁻¹, reduction in growth and size, decrease in the number and size of leaves and modifications to the form and number of roots. They also found higher bioaccumulation of CBZ on older leaves than younger, which implies that CBZ accumulation in leaves, was higher in leaves than in roots.

Gonzalez-Garcia *et al.* (2018) studied the accumulation of CBZ and diclofenac (DCF) in lettuces grown on hydroponic systems with pharmaceutical concentrations of 30, 60, 120 and 210 µg·L⁻¹. Results showed that in all three varieties there is a greater concentration of CBZ in leaves

than in roots probably due to the intermediate hydrophobicity and neutral charge of this compound. In contrast, the concentration of DCF was greater in roots than in leaves due to its higher hydrophobicity. Therefore, a substance with a lower hydrophobicity is more bioavailable because it is not easily retained by the soil (Rumi *et al.*, 2012). Cabbage and turnip have also been used to establish their potential accumulation capacity of pharmaceuticals such as CBZ, salbutamol, sulfamethoxazole and trimetropin (Herklitz *et al.*, 2010). All pharmaceuticals were detected in leaves, roots and stems of both types of plants, while CBZ and salbutamol were found in the seed pods of the turnip. Tests have also been undertaken with medical drugs used in animal farming and their uptake by alfalfa (Kurwadkar *et al.*, 2017). Sulfamethoxazole was mostly found in roots rather than in sap probably as a result of its hydrophobicity and ionic behaviour, which facilitates its uptake by roots and makes it less prone to bioaccumulation.

3.7.2. Plant growth

In conventional farming systems the average concentration of nutrients in wastewater could provide 300 kg of N ha⁻¹·y⁻¹ and 60 kg of P ha⁻¹·y⁻¹ with a water application of 7,500 m³·ha⁻¹ (FAO, 2017). Boyden and Rababah (1996) found that lettuces grown with wastewater were smaller compared to those irrigated with a hydroponic solution. Moreover, the growth of lettuces cultivated in the hydroponic system was maintained in the exponential phase while the lettuces in the control group had already reached the stationary phase during the same period of time which may imply that hydroponic lettuces did not reach maturity probably to inadequate levels of potassium or other trace elements.

There have been positive results using RW in hydroponic cultivations of sugarcane (Mavrogianopoulos *et al.*, 2002), cucumber (Morillo *et al.*, 2004), toloache (Vaillant *et al.*, 2003), barley (Al-karaki, 2011; Adrover *et al.* 2013), tomato (Rana *et al.*, 2011), sunflower (de Andrade *et al.*, 2012) and lettuce (da Silva-Cuba *et al.*, 2015). However, in most of the cases, wastewater had to be spiked with nutrients to provide the full requirements for plant growth. The cucumbers obtained did not present significant differences of N, P, Ca and Mg, suggesting that wastewater does not affect the assimilation of nutrients. The wastewater on its own was not capable of providing the required nutrients and this was evident by chlorosis, necrosis, limited growth and morphological alterations in the plants (Morillo *et al.*, 2004). However, the use of non-spiked RW for the irrigation of sunflowers resulted in better height and weight of the stems, as well as larger flowers (Andrade *et al.*, 2012). Similar results were obtained by (Santos-Junior *et al.*, 2014) who found a direct correlation between reclaimed water spiked with nutrients to growth of sunflowers. Even at a 55% nutrient addition, better results were obtained with RW than using the Hoagland solution as control.

3.7.3. Laboratory scale and pilot scale case studies

The great majority of studies on hydroponics with reclaimed water are at laboratory scale. Small-scale hydroponics wastewater treatment is capable of removing microorganisms satisfactorily, including virus and (oo)cyst process indicators, thus hydroponics can be an alternative to conventional wastewater treatment (Ottoson *et al.*, 2005). Ndulini *et al.* (2018) undertook studies with raw wastewater using beggar's tick and green amaranth. Experiments lasted for three months and removed 87% of NH_4 , 96% NO_2 , 87% NO_3 , and 92% of faecal coliforms. There was a direct correlation between hydraulic residence time and faecal coliforms removal. Filtration through the sand media and antibiosis by an active rhizosphere favoured competition and predation that produced a greater removal of bacterial indicators.

An experimental pilot scale commercial hydroponic system was tested by Boyden and Rababah (1996) to evaluate the nutrient removal from the effluent of a wastewater treatment plant and growth of vegetables for human consumption or fodder. The growth of lettuce was tested with nutrient solution, wastewater and a 1:1 and 1:3 mixture with nutrient solution and wastewater. Results showed that growth was better with the nutrient solution, followed by the 1:1 mix and then the 1:3. Removals of 80%, 77%, 86%, 87% and 99% were obtained for total N, total P, COD, BOD and TSS, respectively, in a 7-days recirculation in an NFT system. A decrease in BOD, COD and TSS, and the removal of N and P by toloache in a hydroponic system with wastewater was found by (Vaillant *et al.*, 2003). There were no significant differences in the growth of plants with nutrient solution and non-spiked wastewater.

The growth of ornamental plants such as sunflower on RW showed a better growth of the stems (16.9% more), stem diameter (118.5% more) and external diameter of the flower (2.96 mm more) and a greater number of petals than flowers grown on natural water with nutrient solution (Andrade *et al.*, 2012). Santos-Junior *et al.* (2014) obtained similar results using coconut fibre as substrate. By using a mixture of 50% commercial nutrient solution and 50% wastewater it was possible to reach competitive growth rates for the production of flowers for exportation, making the use of wastewater a viable source for the preparation of nutrient solutions.

3.8. Full-scale studies

Overall, the known full-scale studies indicate that if hydroponic systems are appropriately designed and operated, they could be used successfully for secondary and tertiary wastewater treatment. Hence the use of hydroponic systems in urban agriculture can form part of the solutions to the challenges brought by urbanization through the production of food and income generation for poor urban dwellers (Magwaza et al., 2020).

Rababah and Ashbolt (2000) studied the capacity of an hydroponic system using nutrient film technique for the removal of toxic metals growing lettuce with primary treated wastewater. The results showed that lettuce have the ability to accumulate toxic metals beyond maximum permissible levels, suggesting that crops with a low accumulation rate of heavy metals or non-edible crops should be used as value-added crops if hydroponic system is to be incorporated with wastewater treatment. A greenhouse of 450 m² was used to evaluate the growth of cucumbers irrigated with nutrient solution and drainage water from a greenhouse (Grewal et al., 2011). It was found that the reuse of drainage water saved 33% water application. The drainage water had 59% N, 25% P and 55% K of required nutrients that represented savings in the production costs and lowered the environmental fingerprint of greenhouses.

Mavrogianopoulos et al. (2002) tested wastewater from a pig farm for the growth of sugarcane. And demonstrated that the growth of sugarcane was similar to the one of plants growing on soil. There was no evidence of toxic metals accumulation in plant tissue, however P had to be supplemented at the third year. For N, supplement was carried out via NH₄ which transformed into nitrates by the activity of nitrification bacteria on the gravel, thus hydroponic system with gravel is efficient for sugarcane production and to treat wastewater.

3.9. Hydroponics and organic products

Organic agriculture comprises the application of farming practices, biological and mechanical, that promote the recirculation of nutrients, ecological equilibrium, and the maintenance of biodiversity. To do so, it has to guarantee an efficient use of water, soil and nutrients. Practices should be free of chemical fertilizers, antibiotics, electrical energy (UV light or similar) and genetic engineering (United States Department of Agriculture, 2015) By its definition by the USDA and the National Organic Standards Board (NOSB), hydroponics is not considered an organic agriculture

technique due to its use of nutrients solutions and electrical energy. This has resulted in conflicts between the USDA, NOSB and several organisations of organic farmers (Hansen, 2010). Despite this, the USDA and states like California and Oregon still provide organic certification to hydroponic systems (Gomiero, 2018). Worldwide, a similar disagreement has been reached as countries like Holland, the United Kingdom, Germany, Italy, France, Belgium, Spain, Canada and Mexico consider hydroponics as a form of organic agriculture, while Colombia and Ecuador do not (CORNUCOPIA, 2015).

As an alternative to the objections raised by the NOSB, it has been proposed to use organic components as substrates for plant growth like coconut fibre, sand, sawdust, and coffee husk combined with nutrient solutions from other production systems such as effluents from pig farms, chicken farms, and aquaculture farming (Hansen, 2010). Liedl *et al.* (2006) evaluated the use of liquid effluents from the anaerobic digestion of chicken farms to produce hydroponic tomatoes. It was necessary to add NO_3 because the liquor had only high NH_4 . Also Mg had to be added to avoid deficiency symptoms in plants.

Another alternative for organic agriculture is the use of vermicompost and worm tea as nutritive solutions. Studies by Jarecki *et al.* (2005) and Churilova and Midmore (2019) highlight that these types of solutions have helped in aspects such as pH equilibrium and nutrient supplement. Studies compared the growth of cabbage in NFT systems added with synthetic solution of nutrients and diluted vermicompost solution buffered with HNO_3 , obtaining good yield in both systems. However, the high concentration of ions like sodium in vermicompost solution without dilution nor buffer, affected the bioavailability of other ions and their toxicity.

If wastewater comes from an aquatic production system (aquaponics), it could be considered as an internal input and thus, could be considered as “organic” if no external supplemental nutrients are added, which is commonly done to achieve healthy growth of plants. Although studies with organic nutrients have had encouraging results, they do not eradicate the use of synthetic and chemical compounds as the former usually have to be spiked in order to meet the plants’ requirements. Yet, hydroponics with RW can be considered a clean production system as it uses fewer amounts of chemical fertilizers and pesticides than traditional agriculture with certifications for good agricultural practice and is more environmentally-friendly.

3.10. The future of hydroponics

According to Shahbendeh (2018), the use of hydroponics for agriculture production has increased by 20% from 2016 to 2019 with a production value increase from 6.9 to 8.3 x 10⁹ dollars (USD) and it is estimated to increase by 45% by the year 2025. Additionally, the composed annual growth rate (CAGR) is estimated to be 6.8% from 2019 to 2024 and the main producers are the United States, Canada, Germany, United Kingdom, China, Brazil, the Middle East and South Africa (Mordor Intelligence, 2019).

The USDA passed legislation to promote urban agriculture and vertical farms with the goal of reaching food safety and to maintain healthy ecosystems. These technologies aim at controlling all environmental variables (light, pH, temperature, nutrients) to promote optimal growing conditions for the plants and the use of fossil fuels by heavy machinery decreases significantly. An acre of vertical farms produces the same amount of 4-8 acres of traditional agriculture (Pascual *et al.*, 2018). Moreover, this technique can be implemented in many places such as buildings and warehouses, transforming such places into “food production factories” with controlled environments. Studies by Pascual *et al.* (2018) used vertical hydroponic farms to produce onions in the Philippines and considered them as a viable alternative for food production, although they recognised that the high initial investment required can be a limiting factor for its widespread implementation. However, in the long term, it is viable due to the increase in production and yields.

Ramírez-Arias *et al.* (2018) undertook studies with strawberries evaluating several sowing densities distributed in several levels, both horizontal and vertical. In terms of crop production, the vertical systems proved to be more efficient because it was possible to reach higher crop densities. It was reported that the intermediate plants had better growth due to lower stress and that higher temperatures affected the plants in the upper level while plants in the lower level were light-limited.

Vertical farms have also been evaluated in terms of their carbon footprint, energy consumption and farmers' acceptance. Al-Chalabi (2015) evaluated the theoretical impact of urban farming of vegetables, fruits and grains on a 30-floor building, and examined the amount of energy required and the possibility of supplying it via sustainable sources. Enough solar panels could be accommodated in the building to satisfy the energy demand. In terms of carbon footprint, in vertical farms in Summer it is five times higher (1.78 kg CO₂ kg⁻¹ of lettuce) than in conventional farms (0.33 kg CO₂ kg⁻¹ of lettuce), while in Winter it is less than three times higher (6.39 kg CO₂ kg⁻¹ compared to 2.62 kg CO₂ kg⁻¹), although the overall energy requirements in Winter are 3.5 times higher than in Summer due to the need for internal heating of the building. Interestingly, the farmers were not in

favour of vertical farms as they considered the food produced by hydroponics as “food with chemicals, non-natural food”.

Air pollution in large cities could be a problem for urban agriculture due to the high levels of toxic metals like Pb that can accumulate in plants. Moreover, the high energy consumption needed to provide illumination to the system could cause high concentrations of CO₂, decreasing the sustainability of such systems (Goodman and Minner, 2019). Hydroponic products can compete in terms of quality but not in price, and thus, are not affordable for low-income communities. Goodman and Minner (2019) suggest branding the produce as gourmet, in order to make it more attractive for high-income consumers. They also recommend the use of glass ceilings in greenhouses to promote natural solar light and decrease energy consumption. Goodman and Minner (2019) suggest locating hydroponics production in places near cities to avoid pollution generated by the need to transport the product long distances and to have fresher and better-quality products. Moreover, vertical gardens can have a significant positive effect in reducing heat from the denominated urban heat islands (Bass and Baskaran, 2001).

In terms of sustainability, hydroponic systems are considered an important technology for food production in cities because they use environmentally friendly techniques. Buehler and Junge (2016) reported that by the year 2015 there were 9 hydroponic farms in operation in the USA that used techniques such as chemical-free farming, recycled water, rainwater harvesting and greywater reuse. This type of production is especially important for threshold countries in which population has shifted from primordially rural to urban in recent years (Eigenbrod and Gruda, 2015; FAO, 2017). Vertical farms are being operated commercially in China, Holland, South Korea, Japan, Canada, Italy, USA, the United Arab Emirates and UK, not without certain problems with their acceptance and implementation (Kalantari *et al.*, 2018). The most common crops are microgreens, leafy greens, strawberries and tomatoes. Other crops are beans, maize, cucumber and even some types of lupus and fungi. The greatest argument in favour of this technology is the faster growth and increase in the number of harvests per year. For example, leafy greens production can increase three-fold and strawberry can be 30 times larger than the growth achieved in open field.

According to Eigenbrod and Gruda (2015), by 2010 in La Habana, Cuba, more than 35,000 hectares of urban farms have been used for the mass production of food. However, other Latin American countries have used urban farms only on a demonstrative scale. Nevertheless, Avila-Sanchez (2019) concludes that these need government back up and the community acceptance that urban farms represent a solution for food security.

Recently, a great deal of interest has been raised by cannabis commercialisation. Cannabis is now legal for medical purposes or for recreational use in many states in the USA, Canada, Holland, Spain, Belgium, South Africa, Israel, Uruguay, Mexico and Colombia. The cultivation of cannabis requires controlled conditions and, again, hydroponics could facilitate this control for optimum growth and yield (Decorte and Potter, 2015). Studies by Knight *et al.* (2010) highlight the fact that environmental and nutritional conditions need to be controlled to reach the maximum levels of tetrahydrocannabinols (THC) in plants. However, Sullivan *et al.* (2013) argues that the lack of control on growth practices like the addition of certain chemical compounds to accelerate plant growth are carcinogenic and more than 69% of their residues end up assimilated as vegetable tissue (Raber *et al.*, 2015; Lenton *et al.*, 2018).

3.11. Energy savings and economic viability studies

Simplified hydroponic technology has been proposed as a way to reduce hunger in the world and reduces land requirements for crops by 75% or more and water use by 90% (Bradley and Marulanda, 2001). This technology has been explored since 1984 in Colombia, and introduced in 13 countries with projects supported by FAO. Crop nutrients are contained and recycled so no residual salts are lost to the environment and generally neither herbicides nor pesticides are required. Data from Colombia show that a 40 m² garden can produce an income of \$101.00 per month when planted with commercial crops.

Hydroponics can be more energy-intensive than other greenhouse production systems. Efforts to decrease the energy requirements include new designs for hydroponic greenhouses (Baddadi *et al.*, 2019), which allow for better energy conservation than conventional greenhouses. Compared to conventional solar heating, the two packed beds of latent storage energy improved the indoor greenhouse environment especially during harsh and nocturnal periods.

Stanhill (1980) established that the energy intensity per unit yield of heated greenhouses in England and Germany are much more energy intensive than hoop houses and open field production in warm climates (such as Israel and California). Similar findings were obtained in a recent LCA-based study comparing tomato greenhouse production in Austria (1.37 kg CO₂/kg tomato) with the imported supply from unheated greenhouses in Spain and Italy, with half the related emissions (0.68 kg CO₂/kg tomato) for the imported produce from warmer regions (Theurl *et al.*, 2014). In the same study, tomatoes grown locally and organic in low-yield hoop houses only had 0.18 kg CO₂ per

kg of tomato. A comparison of environmental impacts between the operations of hydroponically grown lettuce in greenhouses in Arizona and conventional open-field agriculture revealed 11 times higher yield and 12 times less water requirement by the former on one hand but 82 times greater energy requirement, with heating and cooling as the main causes (Barbosa *et al.*, 2015).

Romeo *et al.* (2018) analysed the life cycle of a pilot farm, a vertical high-yield hydroponic croft in France. The results showed that the hydroponic farm performs better than cultivations in heated greenhouses, and similarly to conventional open field farms. Moreover, the source of the electricity input is a determinant factor that, if carbon neutral (e.g. wind energy) allows vertical hydroponic production to outperform the two conventional types of agriculture.

The Life Cycle Assessment (LCA) to quantify the potential savings of food-related greenhouse gas (GHG) emissions that may be achieved with the establishment of an urban community farm in London was performed (Kulak *et al.*, 2013). It was found that the greatest reductions can be achieved by selecting the right crops: (i) providing the highest yields in local conditions and (ii) usually produced in energy-intensive greenhouses or air-freighted to UK from outside Europe. Implications from further development of the farm on the local, unused land were examined, taking into account market requirements. This showed that land used on an urban fringe for food production could potentially reduce greenhouse gas emissions in Sutton (UK) by up to 34 t CO₂e ha⁻¹ a⁻¹. Although the percentage of this reduction in total diet emissions is relatively low, the result exceeds carbon sequestration rates for the conventional urban green space projects, such as parks and forests. Hydroponics can be such a technology to establish urban community farms.

A comparative study comparing the cost and sustainability of hydroponic substrates evaluated rock wool, perlite, vermiculite, peat, coconut fibers, bark and sand (Vinci and Rapa, 2019). Life cycle assessment (life cycle inventory, life cycle impact assessment (LCIA) and life cycle costing (LCC) was applied to evaluate the environmental and economic impact. Authors found that perlite is the most impacting substrate, as highlighted by LCIA, followed by rock wool and vermiculite. The most sustainable ones, instead, are sand and bark. Sand has the lower carbon footprint (0.0121 kg CO₂ eq.); bark carbon footprint results in one of the highest (1.1197 kg CO₂ eq.), while in the total impact analysis this substrate seems to be highly sustainable. Also for perlite the two results are in disagreement: it has a high total impact but very low carbon footprint (0.0209 kg CO₂ eq.) compared to the other substrates. From the LCC analysis, peat is the most expensive substrate, while sand is the cheapest. It is concluded that sand can be the best substrate to be involved in hydroponic systems by considering its costs and its sustainability.

The economic viability of hydroponic systems was evaluated by (da Silva-Cuba *et al.*, 2015). Brazil, where the hydroponic cultivation of leafy and spicy vegetables showed good economic viability and are an attractive alternative of food production for farmers in the region. However, before starting an investment in hydroponics, the farmer needs to be very cautious, since these systems require a high initial investment. Moreover, to decide to carry out or not the project, the farmer must know the quantity of units to be produced and the return of production. Farmers should check the availability of specialized professionals in the region where they intend to implement the project.

Conclusions

The use of reclaimed water as a nutrient source in hydroponic systems has shown favourable results and its establishment as an alternative for crop production is becoming more viable. The high removal rates of nutrients such as N, P and K in hydroponic systems as a treatment for wastewater make them an alternative to prevent water pollution and water scarcity. Hydroponics has shown to be more efficient than conventional agriculture due to its ability to control environmental conditions and nutrients availability. Plants growing on hydroponic systems have been used successfully to remove toxic metals like Pb and emerging contaminants like diclofenac from wastewater. Although it can be considered a greener technique than conventional farming, there is disagreement in considering a fully organic farming technique because of its use of artificial light and nutrient solutions based on chemical fertilisers. The use of RW, with its higher content of organic matter and nutrients could supply hydroponics systems and still be considered as organic farming. However, there are still a limited number of studies that reported on the success of RW hydroponics at a commercial level. With the growing interest in vertical farming and in the legal production of cannabis, the use of RW for hydroponics is an attractive alternative as a nutrient solution for crops, which would overcome the higher costs associated to the higher energy requirements compared to conventional agriculture.

CAPÍTULO 4. Reúso de Agua Residual Tratada como fuente de nutrientes para el crecimiento de flores de interés comercial en sistemas hidropónicos

4.1. METODOLOGIA:

4.1.1. Área de estudio

La implementación de los sistemas de cultivo se llevó a cabo en el domo Geodésico demostrativo de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) unidad Punta Morro (Figura 2), con coordenadas geográficas: longitud 116°40'5.3"W (-116.668135) y latitud 31°51'47.56"N (31.863207). El ART empleada para esta experimentación fue recolectada en la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) El Sauzal (Figura 3) y transportada a los sistemas experimentales (FCM-UABC) en tanques de 200 L grado alimenticio.

El experimento se llevó a cabo de agosto a octubre de 2020, lo que correspondería a final de verano, inicio de otoño. El registro de las variables ambientales fue llevado a cabo por un data logger Govee modelo H5074, el cual registró cada hora la humedad relativa y temperatura del Domo.



Figura 2. Ubicación Facultad de Ciencias Marinas de la UABC (A y B) y del domo demostrativo (A y C) en la Sede Central de la UABC, en donde se llevó a cabo el montaje de los sistemas hidropónicos empleados para el cultivo de dos especies de flores ornamentales. Las imágenes A y B fueron tomadas de http://fiad.ens.uabc.mx/contacto/mapa_grande.jpg. La imagen C es de autoría de Georges Seingier.



Figura 3. PTAR El Sauzal y ubicación geográfica de la PTAR Sauzal, en donde se observan dos pasos del proceso de tratamiento del ART: el tanque de desinfección (A) y el estaque de aireación (B). Ubicación geográfica de la Facultad de Ciencias Marinas – UABC y de la PTAR (C), en donde tuvo lugar el experimento. Fuente de las imágenes A y B: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/P1-Saneamiento%20en%20Ensenada,%20Baja%20California.pdf>.

4.1.2. Material vegetal

Para evaluar el efecto del ART en el crecimiento de las dos especies de flores seleccionadas: girasol y snapdragon (la selección de estas especies se justifica ampliamente en el capítulo 1 de este documento), se emplearon tres tipos de agua: ART de la PTAR El Sauzal, ART complementada (ARTc) y solución nutritiva Steiner (SN), como tratamiento control (Tabla II). La concentración de nutrientes que se empleó para la SN fue una modificación a la solución propuesta por Steiner (1984) (Tabla II), previamente usada en cultivos de flores, obteniendo resultados favorables (Şirin, 2011; Albino-Garduño *et al.*, 2013). La modificación consistió incluir el ión NH_4^+ , ya que originalmente el aporte de N solo es proporcionado por el ión NO_3^- . La relación propuesta por Santamaria *et al.* (1997), en la que se establece que el aporte de N, en forma de NH_4^+ y NO_3^- , debe ser de 25:75%, fue la empleada en este experimento. Para el ARTc se suplieron los elementos faltantes, teniendo como base el análisis del ART y la concentración propuesta por Steiner para cada elemento. Finalmente, para ART se empleó agua residual sin adición de fertilizantes (cruda).

Tabla II. Solución Steiner propuesta en 1984, para la producción de diferentes especies de plantas. Esta solución proporciona las concentraciones base para complementar el ART y para desarrollar la SN.

Elemento	mg·L ⁻¹
N	168
P	31
K	273
Ca	180
S	336
Mg	48
Fe	10
Mn	0.62
Zn	0.11
Cu	0.02
B	0.44

Para facilitar la determinación de las cantidades necesarias de sales nutritivas a agregar en los tratamientos SN y ARTc se empleó el software de cálculo y formulación de soluciones para Hidroponía de libre distribución “HydroBuddy” v 1.62 (<https://scienceinhydroponics.com/2016/03/the-first-free-hydroponic-nutrient-calculator-program-o.html>).

Las sales nutritivas grado fertilizante agrícola (FA) y/o reactivo industrial (RI) empleadas para enriquecer y/o formular los tratamientos ARTc y SN se listan en la tabla IV. Las concentraciones para adicionar a cada uno de los tratamientos experimentales dependieron del origen del agua usada, ya que el software adicionalmente permite introducir concentraciones de iones ya presentes en el agua. Para conocer la calidad del agua que se iba a emplear como base para los tratamientos de ART y ARTc se llevó a cabo un análisis previo, en donde se determinó las concentraciones de iones como NO_3^- , NH_4^+ y PO_4^- . Es así como, para el caso del tratamiento ARTc, las cantidades de sales a adicionar fueron menores que para el caso de SN.

Tabla III. Caracterización de los tipos de agua empleados al inicio del experimento. En el ARTc y SN los valores corresponden a la tabla de resultados del software Hydrobuddy, por medio del cual se calcularon las cantidades de fertilizantes a adicionar al ART y al agua dulce para riego, respectivamente, para cumplir con las concentraciones establecidas en la solución de Steiner.

	ART PTAR Sauzal (mg·L ⁻¹)	ARTc (ART+fertilizantes) (mg·L ⁻¹)	Solución Nutritiva Steiner (SN) (mg·L ⁻¹)
N-NH₄⁺	42.4	71.78	71.78
N-NO₃⁻	18.8	95.45	95.45
P	5.9	31	31
K	75	273	273
Mg	41.31	48	48
Ca	200	180	180
S	172	471.84	336
B	2.5	0.55	0.44
Fe	----	3.82	10
Zn	----	2.18	0.11
Cu	----	1.63	0.0
Mo	----	0.11	0.05
Na	223	----	----
Mn	----	4.37	0.62
Cl	425	----	----

Tabla IV. Reactivos usados para alcanzar las concentraciones establecidas en la Solución Steiner para ARTc y SN. Se diferencia entre grado reactivo y agrícola de cada compuesto, al igual que el grado de pureza de cada uno de estos.

Nombre del reactivo	Grado del Fertilizante	Especificaciones del reactivo
Nitrato de amonio (NH₄NO₃)	Grado agrícola	NH ₄ : 17 p/p% NO ₃ : 17 p/p% Pureza: 99%
Sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄)	Grado reactivo – Merck	Pureza: ≥99%
Sulfato de Calcio dihidratado (CaSO₄·2H₂O)	Grado agrícola	Ca: 18 – 22 p/p% SO ₄ : 16 – 18 p/p% Pureza: 90 – 96%
Sulfato de Magnesio heptadidratado MgSO₄·7H₂O	Grado reactivo – Sigma Aldrich	Pureza: ≥ 98.0%
Ácido nítrico HNO₃	Grado reactivo – Merck	Pureza: ≥ 69%

Fosfato de Potasio Dibásico (K₂HPO₄)	Grado reactivo-Sigma Aldrich	Pureza: 99.1%
Sulfato de Potasio (K₂SO₄)	Grado agrícola	K ₂ O: 50 p/p% SO ₄ : 17 p/p% Cl: 1.5 p/p% Pureza: 97%
Maxiplex	Grado agrícola – marca Grow More	N: 4.0 p/p% Mg: 4.0 p/p% (Quelato de Mg 1%) B: 0.5 p/p% Co: 0.05 p/p% Quelato de Cu: 1.5 p/p% Quelato de Fe: 3.5 p/p% Quelato de Mn: 4.0 p/p% Mo: 0.10 p/p% Quelato de Zn: 2.0 p/p%

Cada tres semanas y para todos los tratamientos (ART, ARTc y SN) se realizó la renovación del medio de cultivo, con el fin de mantener las concentraciones ideales de nutrientes para el crecimiento de las plantas. Con base en los resultados de los iones medidos en el AR se modificó la cantidad de reactivo adicionado al agua, en ARTc. Para el caso SN la cantidad de reactivos adicionados durante las tres semanas fue la misma (**Error! Reference source not found.**).

Tabla V. Reactivos y cantidad de reactivo adicionado al ARTc y SN durante la experimentación.

	Cantidad de reactivo adicionado (g 100·mL ⁻¹)	
	ARTc	SN
Nitrato de amonio (NH₄⁺NO₃⁻)	40.88	57.03
Sulfato de amonio ((NH₄⁺)₂SO₄⁻)	14.89	30.87
Sulfato de Calcio dihidratado (Ca²⁺SO₄⁻)	-----	93.16
Sulfato de Magnesio heptadidratado (Mg⁺SO₄⁻)	2.50	42.25
Ácido nítrico	17.2	32.73

(HNO ₃)		
Fosfato de Potasio Dibásico (K₂HPO₄)	14.12	17.43
Sulfato de Potasio (K⁺₂SO₄)	31.49	45.55
Maxiplex	10.56	10.92

4.1.3. Sustratos de cultivo

En el experimento, adicional a los tipos de agua, se emplearon dos sustratos de cultivo: arcilla expandida de marca comercial Hydroton®, como sustrato hidropónico, y turba (Peatmoss) marca Promix®, como sustrato orgánico de origen vegetal. El Hydroton®, fue seleccionado teniendo en cuenta las características físicas del medio, que permiten un buen intercambio de gases, proporcionando el agua y nutrientes adecuado para las raíces de las plantas (Abdul *et al.*, 2022). Adicionalmente, la generación de un biofilm bacteriano ha sido reportado, por lo cual se facilitan procesos como la amonificación, nitrificación y desnitrificación, los cuales son importantes para tratar el agua empleada y suministrar otra fuente de nutrientes para las plantas (Hamid *et al.*, 2022).

Respecto a la turba, este medio orgánico de origen vegetal fue seleccionado como tratamiento control, ya que ha mostrado buenos resultados en el crecimiento de diferentes especies de plantas, posiblemente por su capacidad de retención de agua y pH ácido, además de que, al ser un medio estéril, no interfiere en términos de competencia iónica con los fertilizantes o soluciones nutritivas adicionadas (Ohu *et al.*, 1985; Orsini *et al.*, 2017). Asimismo, este medio de cultivo es empleado por los agricultores del Centro Floricultor de Baja California SA de CV, en el cultivo de las especies ornamentales objeto de este estudio (D. Villamil; comunicación personal; 13 marzo 2022).

4.1.4. Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial 2 x 3 x 2 (Figura 4):

- 1) Dos especies de plantas florales: snapdragon y girasol.
- 2) Tres tratamientos/tipos de agua: a) solución nutritiva Steiner (SN), b) Agua Residual Tratada con adición de fertilizantes (ARTc) y c) Agua Residual sin adición de fertilizantes (ART).
- 3) Dos sustratos: Turba ProMix® (Peatmoss ProMix®) y sustrato hidropónico (Hydroton®).

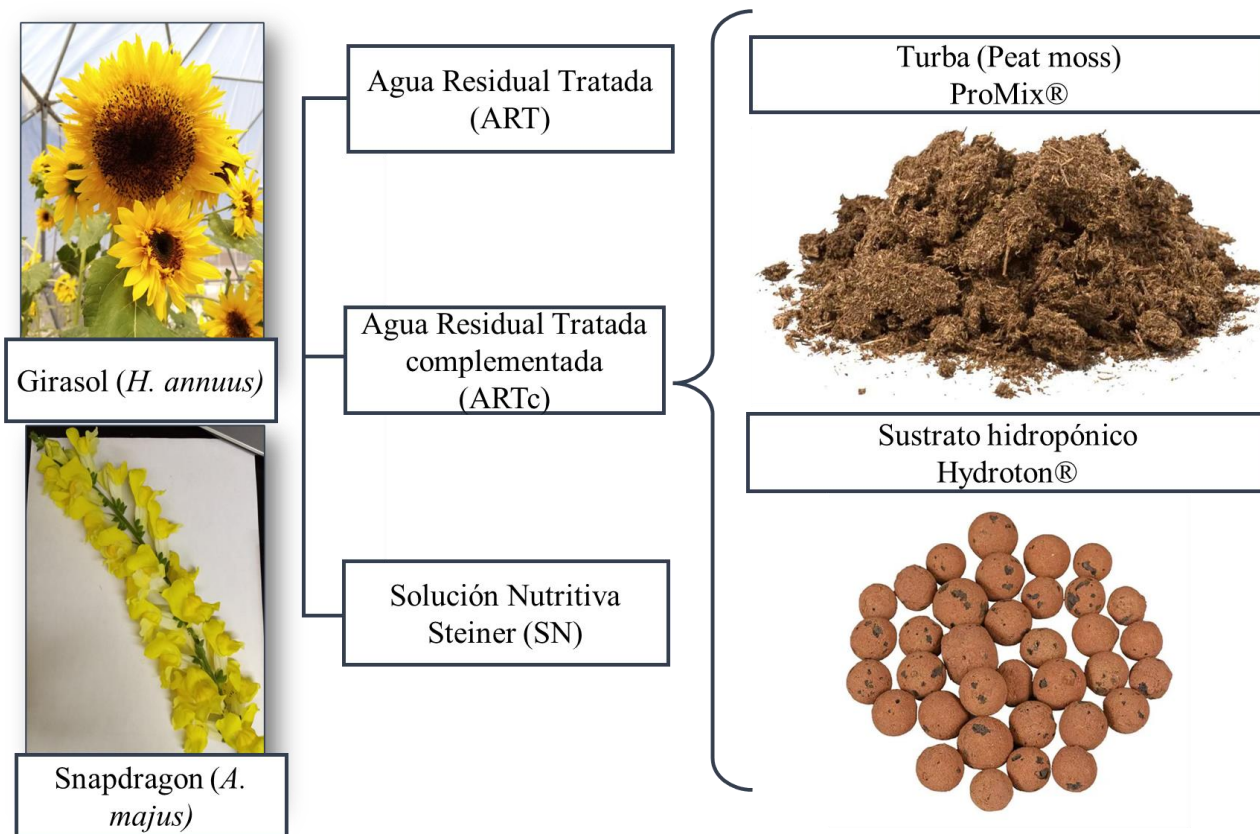


Figura 4. Diseño experimental planteado. Dos tipos de flores: girasol (*H. annuus*), snapdragon (*A. majus*), tres tratamientos/tipos de agua: ART (agua residual tratada sin adición de fertilizantes), ARTc (agua residual tratada con adición de fertilizantes) y SN (solución nutritiva Steiner) y dos sustratos de cultivo: Hydroton® y Turba-Peat moss ProMix®.

Se instalaron tres sistemas experimentales (SN, ART y ARTc) independientes cada uno de ellos con dos tipos de sustratos experimentales: a) Hidropónico: Hydroton®, sustrato tipo arcilla expandida y b) Convencional: Turba ProMix® sustrato estéril (Figura 4).

Cada sistema experimental estaba compuesto de los siguientes componentes (Figura 5):

a) Camas de cultivo: 18 canastas plásticas rectangulares recicladas del tipo agrícola con 37.9 l de capacidad, 30.3 cm de ancho por 50.5 cm de largo y 15.5 cm de alto, las cuales fueron forradas con polietileno negro calibre 600 y provistas con un drenaje central de ½" de CPVC cedula 40, el cual se conectaba a una línea central de tubería de drenaje de 1.5" de PVC cedula sanitaria y que desembocaba a un tanque de compensación y/o reservorio.

b) Tanque de compensación y/o reservorio: contenedor rectangular de plástico color negro de 102 l de capacidad de agua y con dimensiones de 52 cm de ancho por 78 cm de largo y 36 cm de alto, el cual se mantenía tapado con la finalidad de reducir las pérdidas por evapotranspiración y la proliferación de algas.

c) Bomba de agua sumergible: marca Daneer modelo M3 de 1,000 GPH, la cual succionaba y mantenía en recirculación el agua del tanque reservorio e impulsaba el agua a través de una tubería de suministro de agua de 1" de PVC cedula 40. Una parte del agua succionada por la bomba regresaba al tanque reservorio, por medio de una llave tipo bola de PVC de 1" cedula 40.

d) Lámpara de luz Ultravioleta: marca Coraline modelo Turbo Twist de 36 watts que se encontraba conectada en la línea de suministro de agua entre la bomba de agua y el manifold de distribución de agua a los contenedores de cultivo.

e) Manifold de distribución de agua: el cual mandaba un flujo de agua hacia cada canasta de cultivo y estaba regulado por un juego de llaves de PVC cedula 40 de 1", que se conectaban a una manguera de distribución de ½" con goteros compensables marca Toro® de 4 lph, los cuales suministraban agua por goteo a cada planta en el sistema de canastas.

El régimen de riego que se utilizaba para cada tipo de sustrato varió, siendo continuo para Hydroton®.

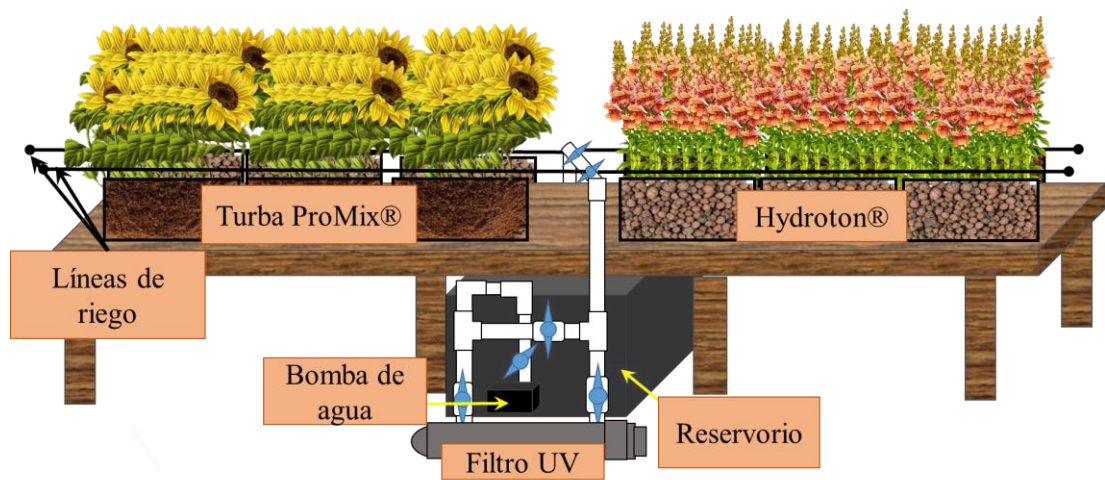


Figura 5. Diseño experimental esquemático. Dos especies de flores: *H. annuus* y *A. majus*, dos sustratos: Hydroton® y Turba ProMix® y tres tipos de agua: ART, ARTc y SN. Se montan tres sistemas iguales, uno para cada tipo de agua.

4.1.5. Determinación de las variables de crecimiento vegetal

El experimento inicio con plántulas de girasol y snapdragon con al menos dos pares de hojas verdaderas y durante la experimentación se diferenciaron las etapas fenológicas descritas en el capítulo 1 de este documento. Al final de cada estadio fenológico se hizo un muestreo aleatorio destructivo (sustracción de algunas plantas del sistema de cultivo) de tres plantas por tratamiento por estadio para registrar la longitud y el diámetro de tallos (cm) (Figura 6 y Figura 7), el número de hojas por planta (cuantificación directa), el peso seco y fresco de tallos y raíz (g) y la estimación del peso de cenizas (%) y peso orgánico (%).

Durante los estadios reproductivos (aparición de aparatos florales) se cuantificó el número de flores por planta, para las dos especies de flores. En el caso particular del girasol se llevó a cabo la medición del diámetro externo e interno de la flor (cm) (Figura 6), mientras que, para snapdragon, la se realizó la medición de la longitud de la inflorescencia (cm) (Figura 7).

La longitud de los tallos y raíces de las plantas muestreadas fue medida con una cinta métrica. Un calibrador vernier Pretul® fue empleado para cuantificar el diámetro de los tallos y el diámetro interno y externo de los girasoles. El peso seco y fresco fue registrado con la ayuda de una balanza analítica marca Sartorius® (max. 610 ± 0.01g). Para el caso del peso de cenizas, este fue medido por medio de una balanza analítica marca Ohaus Modelo Pioner (300±0.001g).

Para obtención del peso seco se secaron los tallos y raíces en estufa a 70 ± 2 °C hasta obtener peso constante. Posterior a esto, las plantas fueron incineradas a 550°C por dos horas en una mufla Thermo Fisher Scientific®. Todos los parámetros de medición se llevaron a cabo teniendo en cuenta lo descrito por Andrade et al. (2012).

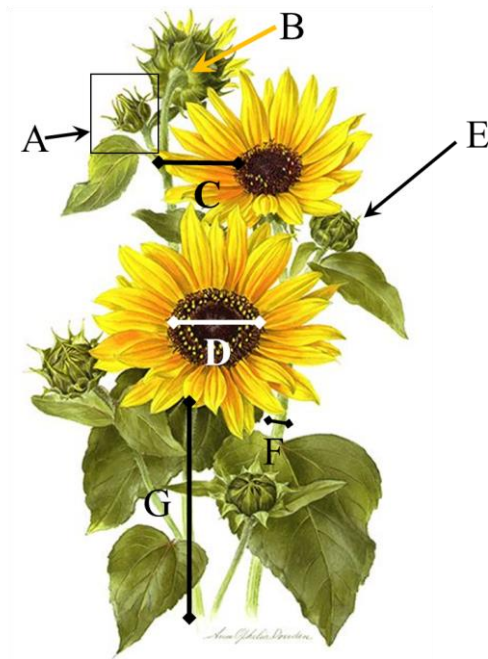


Figura 6. Imagen descriptiva del girasol (*H. annuus*), en donde se indican los parámetros que fueron evaluados durante el desarrollo de la experimentación. A) Yema terminal, B) Bráctea, C) Área externa de la flor, D) Diámetro interno de la flor, E) Inicio floral, F) Diámetro del tallo, G) Longitud de tallo.



Figura 7. Imagen descriptiva de snapdragon (*A. majus*), en donde se indican los parámetros que fueron evaluados durante el desarrollo de la experimentación. A) diámetro de tallo, B) longitud de tallo, C) longitud inflorescencia.

4.1.6. Toma de muestras y Análisis

4.1.6.1. Toma de muestras para determinación de calidad de agua

Semanalmente se tomó una alícuota de 100 ml de agua de cada uno de los reservorios de los sistemas Hidropónicos para cuantificación de la concentración de: amonio (N-NH_4^+), nitrito (N-NO_2^-), nitrato (N-NO_3^-), fosfato (PO_4^-), cloruro (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-}). Estas muestras fueron almacenados a 4°C en un refrigerador comercial para su posterior análisis. El pH y la CE fueron monitoreados diariamente y por medio de un potenciómetro portátil marca Hach Modelo HI98130 y un conductímetro marca Hach Modelo HI 99300.

4.1.6.2. Análisis de parámetros de calidad de agua

La cuantificación de amonio (N-NH_4^+) se llevó a cabo por medio del método espectrofotométrico de Salicilato, número 10031 Hach, para el espectrofotómetro DR 2800®. Los aniones nitrito (N-NO_2^-), nitrato (N-NO_3^-), fosfato (PO_4^-) se midieron por medio de un cromatógrafo de iones Thermo Fisher Scientific®. Para esto, las muestras fueron filtradas con filtros de celulosa de tamaño de poro de 0.45 micras. Posterior a esto las muestras fueron aclimatadas y diluidas a 1:100. Para el caso del análisis de amonio, las muestras se analizaron por duplicado, mientras que, nitrito, nitrato y fosfato, los análisis se llevaron a cabo por triplicado.

La medición del cloruro (Cl^-) se llevó a cabo por el método de Mohr (NMX-AA-108-SCFI, 2001), que se basa en la titulación de cloruros con nitrato de plata, usando como indicador el cromato de potasio. Para los sulfatos (SO_4^{2-}) se utilizó un método turbidimétrico, el cual se basó en la medición de la turbiedad de sulfato de bario a una longitud de onda de 420 nm (NMX-AA-074-SCFI, 2014). En el caso de cloruro y sulfato, el análisis efectuado se llevó a cabo por duplicado.

La concentración de micronutrientes importantes para el desarrollo de las plantas como lo son Fe, Mn, Zn, Cu y B no fue medida. Sin embargo, en análisis previos los valores registrados para el Cu fueron menores a $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, para Zn fueron de $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, para B fueron de $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y para Mn fueron menores a $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Con base en estos reportes se estableció la formulación de las soluciones nutritivas empleadas, y de manera teórica se hizo una aproximación del efecto de estos elementos en el crecimiento de las plantas

4.1.6.3. Toma de muestra y análisis de tejidos vegetales

Al finalizar cada uno de los estadios fenológicos y posterior al secado de las plantas muestreadas, 5 g de material vegetal fueron almacenados en frascos de plástico de 1 oz, debidamente etiquetados con fecha de muestreo, tratamiento y especie. Los frascos fueron mantenidos en desecadores, para evitar que ganaran peso por absorción de humedad atmosférica. Estas muestras secas fueron empleadas para la cuantificación de P-PO₄⁻ y NT.

La estimación de P-PO₄⁻, se llevó a cabo pesando individualmente 25 mg de tejido seco por planta en una cápsula de porcelana, utilizando una balanza analítica marca Mettler Toledo (210 ± 0.01g). Posteriormente, el tejido vegetal fue calcinado a 550°C por dos horas en una mufla marca Thermo Fisher Scientific®. Una vez calcinada la muestra se adicionaron 25 ml de HCl 0.3 M y el volumen obtenido fue transferido a un tubo de ensayo (10 mL) para su análisis por espectrofotometría, siguiendo el método de digestión con persulfato ácido (Hach 8190), empleando un espectrofotómetro Hach DR 2800® para su cuantificación (Sadzawka *et al.*, 2004).

La estimación de NT se realizó siguiendo el método de Lowry *et al.* (1951), el cual se basa en la determinación espectrofotométrica de la interacción obtenida con el reactivo de Folin-Ciocalteu, después de una solución alcalina de cobre.

Con los datos obtenidos a partir del análisis de tejidos se estableció la relación entre los estadios fenológicos y la absorción de N y P. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de flujos, cuantificando los porcentajes de asimilación y pérdida de N y P en los sistemas, por medio de las siguientes ecuaciones modificadas a partir de lo expuesto por Yang y Kim (2020):

$$N = \left[C_N \cdot M_c - \frac{d}{dt} (C_{NAT} + C_{N-NO_2} + C_{N-NO_3})V \right] - \sum N_{planta} \times 100$$

Ecuación 1

$$P = \left[C_N \cdot M_c - \frac{d}{dt} (C_{P-PO_4})V \right] - \sum P_{planta} \times 100$$

Ecuación 2

En donde, en la Ecuación 1

N = balance de masa del sistema hidropónico.

C_N = fracción de N en la solución nutritiva ($\text{g N} \cdot \text{L}^{-1}$).

M_c = tasa de aplicación de N en el fertilizante ($\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$).

C_{NAT} , $C_{\text{N-NO}_2}$, $C_{\text{N-NO}_3}$ = concentraciones de NAT, N-NO_2^- , N-NO_3^- en el agua de los sistemas ($\text{g N} \cdot \text{L}^{-1}$).

$\sum N_{\text{planta}}$ = Promedio de N asimilado en las plantas cosechadas ($\text{g N} \cdot \text{planta}^{-1}$).

Y, en donde, en la Ecuación 2

P = balance de masa del sistema hidropónico.

C_P = fracción de P en la solución nutritiva ($\text{g P} \cdot \text{L}^{-1}$).

M_c = tasa de aplicación de P en el fertilizante ($\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$).

$C_{\text{P-PO}_4}$ = concentraciones de P-PO_4 en el agua de los sistemas ($\text{g P} \cdot \text{L}^{-1}$).

$\sum P_{\text{planta}}$ = promedio de P asimilado en las plantas cosechadas ($\text{g P} \cdot \text{planta}^{-1}$).

4.1.7. Parámetros productivos (Índices de crecimiento)

Una manera de determinar el rendimiento de un cultivo es la estimación del crecimiento en términos de acumulación de biomasa fresca, incremento en la altura o diámetro y variaciones en el área foliar y en el número de órganos reproductivos. Estas variables son útiles si se quiere exponer la calidad en términos vegetales de las plantas de cultivo. No obstante, la estimación del peso seco da lugar a un acercamiento a la fisiología de las plantas, como indicador de la fijación y partición del carbono asimilado. De hecho, la TRC indica la capacidad de producción de fotoasimilados y su distribución en los diferentes órganos de las plantas. En términos matemáticos, la TRC es la pendiente de la ecuación que relaciona el logaritmo natural del peso seco con la variable de tiempo; biológicamente se define como el aumento vegetal por unidad de material vegetal en un período de tiempo (Benedetto y Tognetti, 2016).

De acuerdo con esto, se estimaron los siguientes índices de crecimiento para los dos tipos de flores:

- Tasa Relativa de Crecimiento (TRC): es el incremento en masa seca por un intervalo de tiempo, teniendo en cuenta el valor de la masa seca producida y acumulada. Este índice se mide en $g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ (Cardillo y Bernal, 2006).

$$TRC = \frac{(\ln P2 - \ln P1)}{(t2 - t1)}$$

Ecuación 3

En donde, en la Ecuación 3

$\ln P2$ = logaritmo natural del peso seco final de la planta

$\ln P1$ = logaritmo natural del peso seco inicial de la planta

$t2 - t1$ = tiempo transcurrido durante el experimento

- Índice de calidad (IC): indica la relación entre biomasa fresca y longitud de tallo ($g \cdot cm^{-1}$). Este índice será comparado con los estándares establecidos por la Sociedad de Floristas Americanos (SAF) para cada especie de flor (Pan American Seeds Co., 1998) (Reyes-Montero et al., 2009).

$$IC = \frac{PFT}{LT}$$

Ecuación 4

En donde, en la Ecuación 4:

PFT = peso fresco del tallo (gr)

LT = longitud del tallo (cm)

4.1.8. Análisis estadístico

Se determinó la normalidad de todos los datos por medio de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks. La homocedasticidad se evaluó usando la prueba de Levene. Los datos de crecimiento de las plantas se agruparon por etapas fenológicas para su análisis. Para determinar si existía un efecto interactivo entre el tipo de agua y el sustrato sobre las variables de crecimiento y parámetros productivos se utilizó un ANOVA de dos vías. Cuando se encontraron diferencias significativas se utilizó una prueba a posteriori de Tukey con un nivel de significancia de 0.05. En el caso de que los datos no presentaron una distribución normal se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis, para determinar diferencias significativas, con un nivel de significancia de 0.05.

CAPITULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros de crecimiento

5.1.1. Girasol (*H. annuus*)

Los parámetros físicos que se registraron durante el experimento fueron: temperatura promedio $23.10 \pm 3.9^{\circ}\text{C}$, humedad relativa promedio $69.33 \pm 17.40\%$ y fotoperíodo 12:12. Los parámetros de crecimiento en el caso del girasol mostraron diferencias significativas en la longitud del tallo de los tipos de agua empleados (ART, ARTc y SN) durante el estadio 2, y en el número total de flores por planta entre los sustratos empleados (ProMix® e Hydroton®) (Figura 8). En cuanto a la longitud del tallo se observó que las plantas cultivadas con SN ($\bar{x} = 117.2 \pm 15.36 \text{ cm}$), fueron significativamente más altas que las regadas con ART ($\bar{x} = 59.43 \pm 10.23 \text{ cm}$) ($P = 0.049$) (Figura 9).

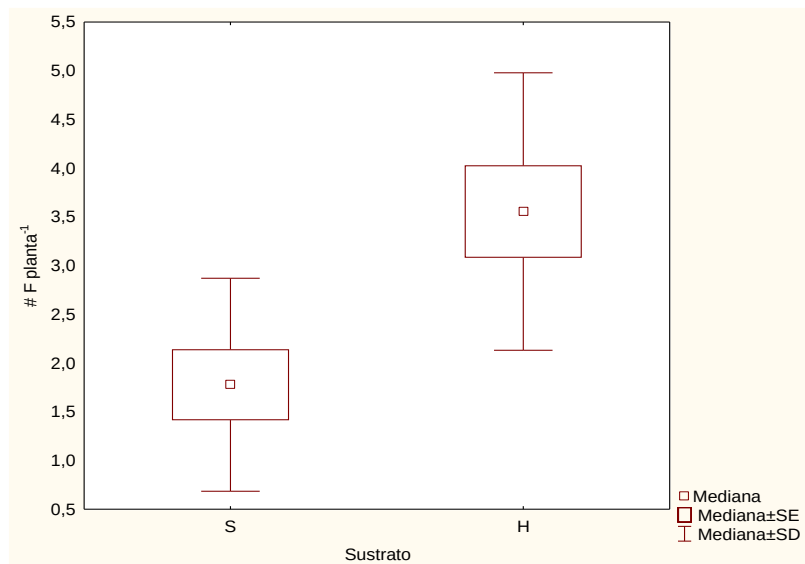


Figura 8. Diagrama de cuartiles del girasol (*H. annuus*) donde se aprecia el número de flores por planta (# Flores·planta⁻¹) durante el estadio vegetativo #3, cultivadas en Solución Nutritiva Steiner (SN), con dos sustratos: ProMix® (S) e Hydroton® (H). Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.

Cabe resaltar que la longitud del tallo (LT) en las plantas de girasol evaluadas presentó un valor máximo en el estadio 4 de $138.0 \pm 50.8 \text{ cm}$. No obstante, sólo hubo diferencias significativas durante el estadio 2, en donde se evidenció un efecto de la concentración de nutrientes, ya que las plantas regadas con solución nutritiva obtuvieron mejores resultados que aquellas cultivadas con agua

residual tratada. Esto puede deberse al bajo suministro de nutrientes como el N y el K⁺. En el caso del N, se ha reportado que este es necesario para un crecimiento vegetativo vigoroso y para regular la formación de yemas, al ser precursor de asimilados que modulan el estrés ocasionado por los procesos de crecimiento en estas formaciones celulares (Ali y Kelly, 1992). En cuanto al K⁺, se ha reportado que en girasol su demanda es alta durante el crecimiento vegetativo, por lo cual se almacena en pecíolos y en el tallo (Quintero *et al.*, 1998). Esto fue corroborado en el estudio llevado a cabo por Souza *et al.*, (2018) en donde se encontró que girasoles cultivados con una dilución al 50% de aguas residuales domésticas tienen menor porcentaje de K⁺ en el tallo que las plantas a las que se les suministró ART complementada.

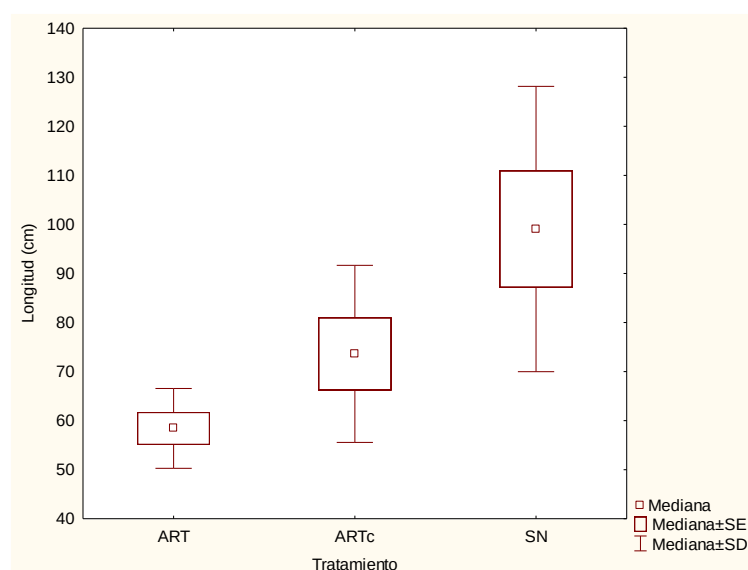


Figura 9. Diagrama de cuartiles del girasol (*H. annuus*) donde se aprecia la longitud total de las plantas durante el estadio vegetativo # 2. Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.

Durante el estadio 4 las plantas que crecieron regadas con ART alcanzaron una altura similar a las cultivadas con suministro de nutrientes. Esto puede relacionarse con la disponibilidad de NO⁻², NO⁺³ y PO⁻⁴ en las semanas posteriores, en donde se observa un incremento en la concentración de estos iones. Efectivamente, se considera que incrementar el suministro de nitrógeno a la planta favorece la tasa fotosintética, lo que lleva a un mayor crecimiento de los cultivos, evidenciado en el aumento de materia seca producida (Peil y Galvez, 2005). A pesar de esto, investigaciones realizadas en flores como *Gerbera jamesonii*, manifiestan que un aumento en el suministro de fertilización nitrogenada parece no estar relacionado directamente con el aumento en la producción,

por lo que se concluye que es posible reducir la fertilización hasta en un 50%, sin afectar el desarrollo y el rendimiento de las plantas (Ortega-Arenas *et al.*, 2005). Esta aseveración concordaría con los resultados obtenidos en el presente estudio, en donde, a pesar de que el suministro de nutrientes en las plantas cultivadas en ART fue inestable, estas alcanzaron la talla de las que fueron cultivadas con suministro continuo de nutrientes.

Particularmente en girasol, reportes previos obtuvieron alturas promedio para comercialización que oscilaban entre 50 - 500 cm, en donde la mayoría de variedades estaban incluidos entre 160 y 180 cm (Ferguson *et al.*, 2012). Otros estudios en donde se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de nitrógeno en forma de urea (0, 20, 40 y 80 kg·ha⁻¹) a girasoles cultivados en suelo agrícola, obtuvieron tallos que alcanzaron 184 cm, con una aplicación de 47.8 kg·ha⁻¹ de N, siendo esta concentración la que llevó a que las plantas tuvieran mejores resultados en términos de altura, diámetro de tallo y de diámetro de las flores. De acuerdo con esto, las flores obtenidas en esta investigación se encuentran dentro del rango de comercialización, por lo que se concluiría, que se puede usar ART, sin suministro externo de nutrientes, para alcanzar la talla comercializable.

Respecto al número total de flores por planta (# Flores·planta⁻¹) durante el estadio 3, se obtuvo un valor más alto al emplear Hydroton® (H) ($\bar{x} = 3.67 \pm 2.52$) que al usar ProMix®(S) ($\bar{x} = 1.67 \pm 1.15$) ($P = 0.014$) (Figura 8). En estudios previos, se ha evidenciado que el uso de sustratos hidropónicos favorece la productividad de los cultivos, comparativamente con el uso de suelo agrícola. En papa, por ejemplo, se obtuvo un mayor rendimiento en plantas cultivadas en aserrín y vermiculita, debido al continuo suministro de nutrientes y agua, al incremento en la aireación y a la mayor capacidad de retención de iones, lo cual favorece el crecimiento de raíces y de brotes nuevos (Corrêa *et al.*, 2008; Wahome *et al.*, 2011). En flores del género *Gypsophila*, se observó que el uso de vermiculita y aserrín mejora la altura de las plantas, el número de brotes por planta, el crecimiento vegetativo y el rendimiento-calidad de las flores (Wahome *et al.*, 2011). En cultivos de *Viola × wittrockiana*, *Catharanthus roseus* y *Longiflorum*×*Asiatic* el estudio comparativo entre seis diferentes sustratos (toba gruesa, toba fina, fibra de coco, perlita e Hydroton®) demostró que el uso de Hydroton® mezclado con toba fina y fibra de coco proporcionó las condiciones idóneas para el crecimiento de las flores evaluadas, obteniendo una mejor calidad en términos de tamaño, número de flores por planta y longevidad (A'asf *et al.*, 2020).

Sin embargo, la escogencia del sustrato hidropónico va a estar sujeta a la especie de planta ha cultivar, ya que hay especies que requieren sustratos que se caracterizan por tener una buena retención de agua y por ser orgánicos, es decir, tener un aporte nutricional en los sistemas de cultivo.

Mientras que, hay plantas que requieren sustratos inertes, como la arcilla expandida, que, además, tiene baja capacidad de retención hídrica (6.3%). En girasol, por ejemplo, condiciones de estrés hídrico incrementa la floración y en el número de inflorescencias (Carrillo-Ávila *et al.*, 2015). Esto concuerda con lo registrado en el presente estudio, en donde el uso de sustrato tipo Hydroton®, favoreció significativamente la floración, en contraste con la turba (sustrato orgánico y con alto porcentaje de retención hídrica: 70%).

En cuanto al diámetro de los tallos (DT), se obtuvo al final del cultivo de girasol valores que oscilaban entre 11.0 – 12.67 mm, sin presentarse diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Estos resultados concuerdan con lo reportado previamente por Chavarría-Párraga y Vera-Montenegro (2010) quienes registraron valores entre 12.4 – 13.4 mm, y por Escalante-Estrada *et al.*, (2008) que obtuvieron plantas con diámetros de 9.1 – 11.8 mm. Cabe resaltar que la importancia del diámetro en el crecimiento de las plantas radica en que les proporciona soporte, facilitando el manejo y la cosecha, y dando una vida de postcosecha más prolongada (Biscaro *et al.*, 2008). En el presente estudio no se observó efecto de los tratamientos en el DT.

El diámetro interno de la flor (DI) no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El valor promedio obtenido fue de 7.61 ± 2.48 cm, para el estadio 3, y de 9.17 ± 3.89 cm para el estadio 4. Estos resultados son mayores a los obtenidos en estudios previos, como el de Andrade-Oliveira *et al.*, (2017), quienes evaluaron el efecto de diluciones de aguas residuales tratadas domésticas en el crecimiento de girasoles crecidos en macetas. Sus resultados de DI para el final del cultivo oscilaron entre 6.73 – 7.78 cm. De igual manera, Souza *et al.* (2018) obtuvieron diámetros internos de la flor de 7.07 – 8.07 cm, en girasoles cultivados con 50, 75 y 100% de aguas residuales tratadas domésticas.

En relación con el diámetro externo de la flor (DE), los promedios registrados para el presente estudio fueron de 13.10 ± 2.66 cm para el estadio 3 y, 14.15 ± 3.17 cm para el estadio 4. Al igual que para el DI, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos implementados. Los resultados obtenidos por autores como Andrade-Oliveira *et al.*, (2017) y Souza *et al.*, (2018), en este caso, fueron mayores que los obtenidos en el presente estudio, siendo de entre 15.20 – 16.20 cm y de 14 – 18 cm, respectivamente. Pese a esto, los datos obtenidos por las plantas de girasol en el presente experimento se mantuvieron dentro de los estándares reportados por SC Enviroment (Ferguson *et al.*, 2012) y Sakata Seed Corporation (<https://sakataornamentals.com/about/>) quienes establecen para la comercialización del girasol un DE de 10 – 15 cm.

5.1.2. Snapdragon (*A. majus*)

Los resultados obtenidos para snapdragon presentaron diferencias significativas en parámetros como el diámetro de tallo y el peso orgánico, durante el estadio 1; la longitud de raíz, durante el estadio 2; el número de hojas, el peso seco y la longitud de la inflorescencia, en el estadio 3; y el número de flores, el peso fresco y el peso seco, en el estadio 4.

El diámetro de tallo en el estadio 1 fue menor significativamente ($P=0.009$) en la interacción ART + Hydroton® (ART-H) (2.00 mm), comparativamente con ARTc + Hydroton® (ARTc-H) (7.00 mm), SN + Hydroton® (SN-H) (6.67 mm) y SN - ProMix® (SN-S) (5.67 mm) (Figura 100). Sin embargo, el grosor de las plantas para los estadios restantes no muestra diferencias significativas, obteniéndose valores de 4.33 ± 0.50 a 5.67 ± 0.58 mm. Esto puede deberse a un incremento en la concentración de nutrientes, entre ellos el N, el Mg^{2+} , el PO_4^- y el K^+ . Respecto al N, se sabe que es importante en la síntesis de ácidos nucleicos y en el metabolismo y síntesis de proteínas. En cuanto al Mg^{2+} , el PO_4^- y el K^+ , se ha reportado que estos iones están involucrados en diferentes procesos de las plantas, como la formación de clorofila, la síntesis de ácidos nucleicos y la elongación, respectivamente (Mengel y Kirby, 2000). En el caso específico del K^+ , se sabe que es un precursor del crecimiento celular, debido a su interacción con el ácido giberélico, el cual incrementa la movilización del K^+ y la acumulación de azúcares en las zonas de alargamiento del tallo, además que reduce el potencial osmótico en la pared celular, lo que lleva a un incremento en la extensibilidad de esta y a la promoción de la división celular (Benlloch-Marín, 1979).

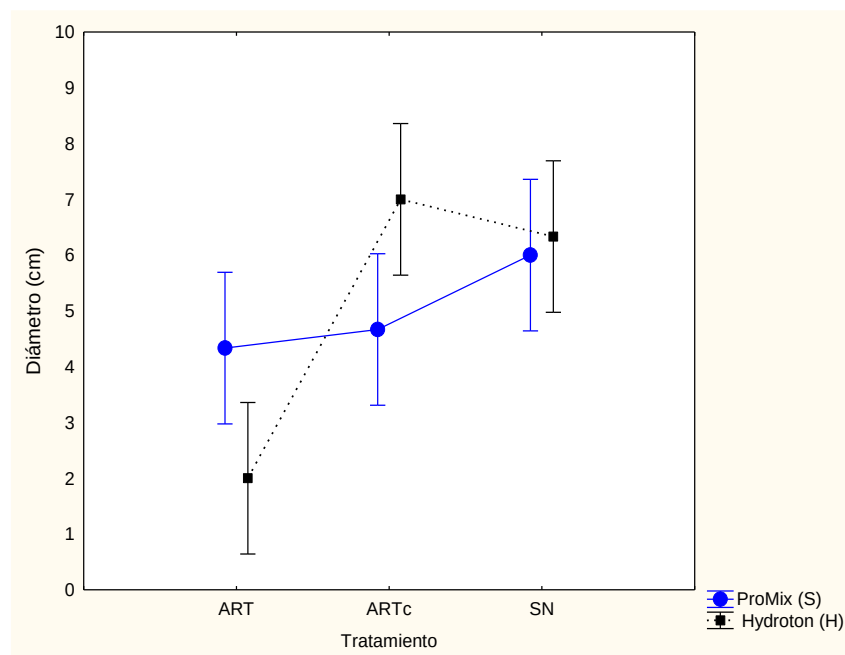


Figura 10. Valores promedio y desviación estándar del diámetro de tallo (cm) durante el estadio vegetativo #1, en plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

Por otro lado, los valores obtenidos en el presente estudio para el DT en el estadio 4 de snapdragon, son menores a los reportados en estudios previos. Carter y Grieve (2008) obtuvieron diámetros que oscilaban entre los 7.0 y 10 mm, en plantas de snapdragon expuestas a cinco salinidades (2.5, 5, 8, 11 y 14 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y dos composiciones iónicas de agua, sin evidenciarse diferencias significativas entre los tratamientos. Esto permite concluir que se pueden producir snapdragon comercializables en condiciones salinas de hasta 14 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Ahmad *et al.*, (2020) observaron el crecimiento de snapdragon sembrados en seis sustratos hidropónicos distintos: aserrín, cáscara de maní, fibra de coco, cascarilla de arroz, residuos de caña de azúcar y limo (control), mezclados en diferentes porcentajes, obteniendo un DT de 8 mm en el tratamiento control (limo) y 13 mm en la mezcla fibra de coco (50%) con cascarilla de arroz (40%) y residuos caña de azúcar (10%). Estos resultados pueden deberse a que los sustratos empleados por Ahmad *et al.* (2020) son buena fuente de N y P, y además tienen buena capacidad de retención de agua, comparativamente con el limo. La diferencia obtenida en el presente estudio respecto a los resultados reportados puede atribuirse a las variedades empleadas, a la concentración de nutrientes o a la capacidad de intercambio iónico y de intercambio de agua de los sustratos empleados. Pese a esto, las plantas obtenidas en el presente trabajo tienen calidad comercial de

acuerdo con lo estipulado por la Sociedad Americana de Floristas (American Florist Society) (Dole y Wilkins, 1999). De igual manera, es importante mencionar que los tratamientos ARTc-H, SN-H y SN-S, no presentan diferencias significativas, por lo que se puede considerar el uso de ARTc y de Hydroton®, como una alternativa viable para la producción de este tipo de flores de corte.

Respecto a la longitud de raíz durante el estadio 2, las plantas cultivadas en el tratamiento ART-S tuvieron una raíz significativamente más corta (7.97 cm) que la de las plantas del tratamiento ART-H (15.5) ($P = 0.021$) (Figura 11). Estos resultados podrían demostrar que las raíces crecen mejor en sustratos secos, que en sustratos húmedos y en suelos con un mayor volumen de poros aéreos, similar a lo reportado por Ortega-Martínez *et al.* (2010) quienes evaluaron el crecimiento y rendimiento de tomate usando mezclas de cuatro sustratos: aserrín, tezontle rojo, composta de estiércol de ovinos y tierra agrícola. Estos autores evidenciaron que el suelo agrícola y la composta fueron los sustratos que presentaron un menor crecimiento y rendimiento. Por el contrario, el aserrín y el tezontle, mezclados o solos, constituyeron una alternativa viable, obteniéndose mejores resultados al aportar mayor estabilidad, buena capacidad de aireación para el sistema radicular, adecuada retención de agua y de nutrientes. Respecto a la humedad del suelo, Mengel y Kirkby (2020) aseveran que hay un mejor crecimiento radicular en las zonas que rodean a los gránulos de fertilizantes, sin importar la cantidad de agua contenida en el mismo. Esto concuerda con la densidad radicular que se puede evidenciar en diferentes tipos de plantas, las cuales exhiben mayor densidad en las zonas superiores del suelo donde el volumen de poros aéreos es mayor y va disminuyendo a medida que se penetra en los horizontes del suelo.

Respecto a la longitud de raíz (LR) en snapdragon se pudo evidenciar que hubo una reducción en la elongación a partir del estadio 2, sin presentarse diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 11). De acuerdo con lo reportado en la literatura, esta disminución puede deberse a que la demanda de nutrientes por unidad de sistema radicular es más alta cuando la planta es joven, puesto que el requerimiento nutricional es mayor. Por consiguiente, a medida que la planta crece, la longitud radicular disminuye. Adepetu y Akapa (1977) encontraron en *Vigna unguiculata* que la velocidad de adsorción de P y K fue de 4 a 5 veces menor a los 30 días de crecimiento, que a los 5 días. De la misma manera, Vincent *et al.* (1979) encontró, en plantas de soya, que las velocidades de adsorción de K^+ fueron más altas en el estado vegetativo que en el reproductivo.

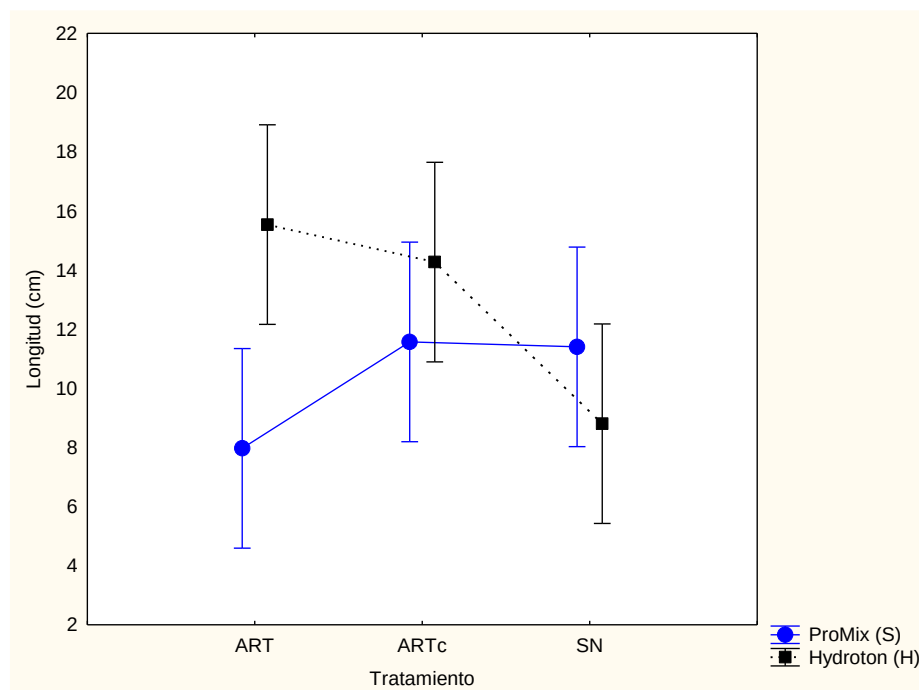


Figura 11. Valores promedio y desviación estándar de la longitud de la raíz (cm) durante el estadio vegetativo #2 de plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

Las plantas de snapdragon sembradas en el tratamiento ARTc-S mostraron un menor número de hojas por planta (# Hojas·planta⁻¹, $P = 0.031$) en el estadio 3 (24 hojas) comparativamente con las plantas sembradas en el tratamiento ART-S (70 hojas) (Figura 12). En cuanto al número de flores por planta (#Flores·planta⁻¹) en el estadio 4, el tratamiento SN-S (34 flores) tuvo un número de flores significativamente mayor ($p=0.009$) que ART-S (5 flores), ART-H (14 flores) y SN-H (13 flores), respectivamente (Figura 13).

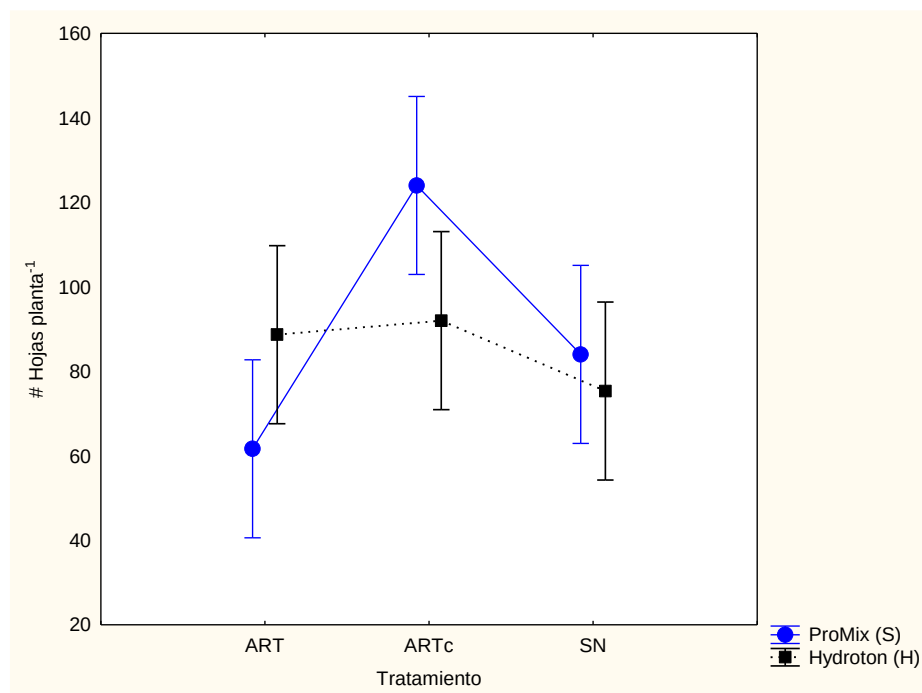


Figura 12. Valores promedio y desviación estándar del número de hojas por plantas (# Hojas·planta⁻¹) durante el estadio vegetativo #2 de plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

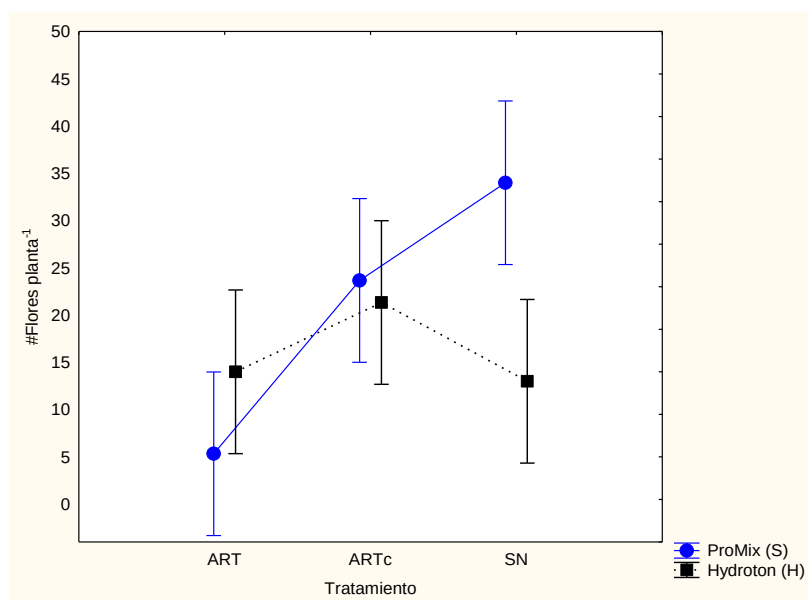


Figura 13. Valores promedio y desviación estándar del número de flores por plantas (# flores·planta⁻¹) durante el estadio vegetativo #4 de plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivadas con ART, ARTc y SN y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

El efecto de la cantidad de hojas en el desarrollo de las plantas ha sido evaluado desde diferentes perspectivas por diversos autores. Por un lado, se recomienda disminuir el número de hojas útiles, ya que esto determinará el rendimiento que alcance el cultivo, en términos de acumulación de biomasa. Este es el caso del estudio realizado por Hernández-Martínez *et al.* (2015), en el que se determinó la influencia de diferentes espaciados entre plantas y el número de hojas en el crecimiento y desarrollo del tabaco negro. Los autores evidenciaron un mayor engrosamiento al reducir el número de hojas en la planta. Estos resultados pueden atribuirse a que la planta destina una mayor proporción de nutrientes para formar vasos conductores, mejorando la traslocación y acumulación de nutrientes, para nutrir el aparato vegetativo existente. Esto puede evidenciarse en el presente estudio en donde el DT no mostró diferencias significativas durante los estadios 3 y 4, lo que implica que no hay una influencia del número de hojas en este parámetro de crecimiento.

Sin embargo, la LT para el estadio 3 fue significativamente menor para los tratamientos ART-H y ART-S, comparativamente con los demás tratamientos. En términos del número de hojas (#H), el efecto de este parámetro de crecimiento en la elongación del tallo está relacionado con la disminución de procesos como la fotosíntesis, el intercambio de gases, la respiración y la transpiración (Taiz y Zeiger, 2006), e interviene en los mecanismos encargados de la diferenciación celular, en los que se involucra la síntesis de aminoácidos, implicados en la generación de fitorreguladores y fitohormonas como las auxinas, las giberelinas, las citoquininas, el ácido abscísico y el etileno (Alcántara-Cortés *et al.*, 2019). En el caso específico de las auxinas, se ha reportado que éstas regulan la división y elongación celular, activando rutas de diferenciación que intervienen en la formación del tejido vascular, en la dominancia apical y en el desarrollo de hojas y flores. Su síntesis generalmente se lleva a cabo en el ápice del follaje, en hojas jóvenes y en el meristemo de la raíz, siendo su precursor orgánico el L-triptófano (Magaña-Dueñas *et al.*, 2015). Esto último es especialmente importante, ya que se conoce de la importancia del nitrógeno en la síntesis de aminoácidos, y debido a que este nutriente estaba en concentraciones menores a las necesarias, según lo reportado en literatura (Corrales-González *et al.*, 2016), puede asumirse que su carencia tuvo una repercusión en los parámetros mencionados en este párrafo previamente (# H y LT).

El número de hojas también es un indicador del estatus de crecimiento de las plantas, teniendo un efecto primordial en la transición de fases, entre juvenil y adulta, relacionándose directamente con las reservas metabólicas que soportan la demanda energética para la producción de flores y semillas (Erwin, 2007). En términos morfológicos, la producción de flores conlleva modificaciones en tamaño del meristemo apical, el cual aumenta su diámetro a medida que incrementa el número

de hojas (Proietti *et al.*, 2022). En el presente experimento, los tratamientos SN-S, ARTc-H, ARTc-S y ART-H tuvieron similar número de flores y hojas, por lo que se puede relacionar la teoría expuesta al inicio del presente párrafo. No obstante, también se ha evidenciado el efecto de la deficiencia de ciertos nutrientes en la promoción de la floración, lo cual no ha sido reportado para el caso de un exceso de nutrientes. Esta aseveración puede relacionarse con el tratamiento ART-H, que tenía una menor disposición de nutrientes comparativamente con los tratamientos suplementados, y a pesar de esto, las plantas cultivadas en este tipo de agua alcanzaron la misma cantidad de flores que los tratamientos con una concentración más adecuada de nutrientes (Cho *et al.*, 2017).

En efecto, los resultados obtenidos para los diferentes tratamientos fueron similares entre sí, pero, difieren con los datos registrados por Inaba y Ohshiro (2005) quienes alcanzaron entre 24 – 34 flores·planta⁻¹ en snapdragon variedad Mary Land y 23 – 32 flores·planta⁻¹ variedad Pink butterfly, bajo densidades de 25, 37 y 50 plantas·m⁻². Estos valores son menores a los obtenidos en el presente experimento, y aunque es difícil determinar a qué se debe la diferencia entre los resultados registrados y los obtenidos en este trabajo, podrían atribuirse a diferentes variables como los son el clima, el fotoperíodo y la concentración de nutrientes. En la revisión publicada por Proietti *et al.*, (2022) se describe la influencia del fotoperíodo y de la temperatura en la floración, argumentando que las horas de exposición solar en algunas especies de plantas acelera el desencadenamiento de las rutas de señalización involucradas en la generación de flores, llevando a que una disminución de esta variable lleve a una disminución en el crecimiento de las plantas, seguido de la prolongación de la fase juvenil o la reversión del estadio adulto al juvenil. En el trabajo publicado por Inaba y Ohshiro (2005), el inicio de la floración se vio afectada por la temporada de siembra, la cual fue de septiembre a febrero, época en la que como es bien sabido, el fotoperíodo es menor, al igual que la temperatura.

También se ha demostrado la influencia del fotoperíodo en longitud de la inflorescencia y del escape (zona del tallo que no tiene flores) en snapdragon, evidenciándose que un fotoperíodo de 13 horas, a una temperatura de 24°C día y 18°C noche, favorece el incremento en longitud de la especie, sin importar la variedad empleada (Shang *et al.*, 2003). Esto es importante, debido a que ayuda a determinar las variables que pueden afectar la calidad de las plantas, adicionales a la concentración de nutrientes en el agua de cultivo y en el sustrato. No obstante, en el presente estudio no hubo una variación del fotoperíodo entre los tratamientos, por lo que, las diferencias encontradas no pueden atribuirse a esta variable, pero si puede compararse con otros estudios previamente publicados, en donde por ejemplo para el caso de Reyes-Montero *et al.* (2009), se

corroborar la importancia del fotoperíodo y las variaciones de temperatura entre día y noche, pues estos autores cultivaron snapdragon a la intemperie, registrando temperaturas que variaban de 13 a 20 °C, y obteniendo de esta manera LI de 20 a 26 cm, mientras que en el presente estudio a temperaturas que oscilaban entre 19 a 27°C se alcanzó LI de entre 26 a 35 cm.

Las diferencias registradas en la LI en el presente estudio entre los tratamientos parecen estar relacionadas con el tipo de agua y los nutrientes suministrados, específicamente para el caso de ARTc-S y ART-S, en donde se observó datos significativamente menores para este último tratamiento. Esto puede deberse, de acuerdo con lo expuesto por Ortega-Martínez *et al.* (2010) a la disponibilidad de N, P y K, los cuales tienen una mayor absorción en plantas ornamentales durante el inicio de la floración y la elongación del tallo, comparativamente con otras fases de las plantas. De hecho, en algunas especies de flores, se evidencia una mayor absorción de K, que, de otros minerales, durante la floración (Ortega-Blu *et al.*, 2004).

Los resultados obtenidos para peso fresco durante el estadio 4 (Figura 14) muestran diferencias significativas entre las plantas cultivadas en el tratamiento SN-S (43.03 g), ARTc-H (30.03 g), ARTc-S (37.03 g) respecto a los demás tratamientos ($P < 0.05$). En el estadio 1, el peso orgánico fue significativamente mayor ($p = 0.009$) en SN-S (86.78%) y ARTc-H (88.11%) que en los tratamientos restantes (Figura 15). Los resultados de la longitud de la inflorescencia (Figura 16), durante el estadio 3 mostraron un comportamiento similar entre los tratamientos, con excepción de ARTc-S ($\bar{x} = 34.87 \pm 5.48$ cm) y ART-S ($\bar{x} = 18.23 \pm 8.34$), los cuales fueron significativamente diferentes ($P = 0.009$), siendo mayor el resultado obtenido para ARTc-S.

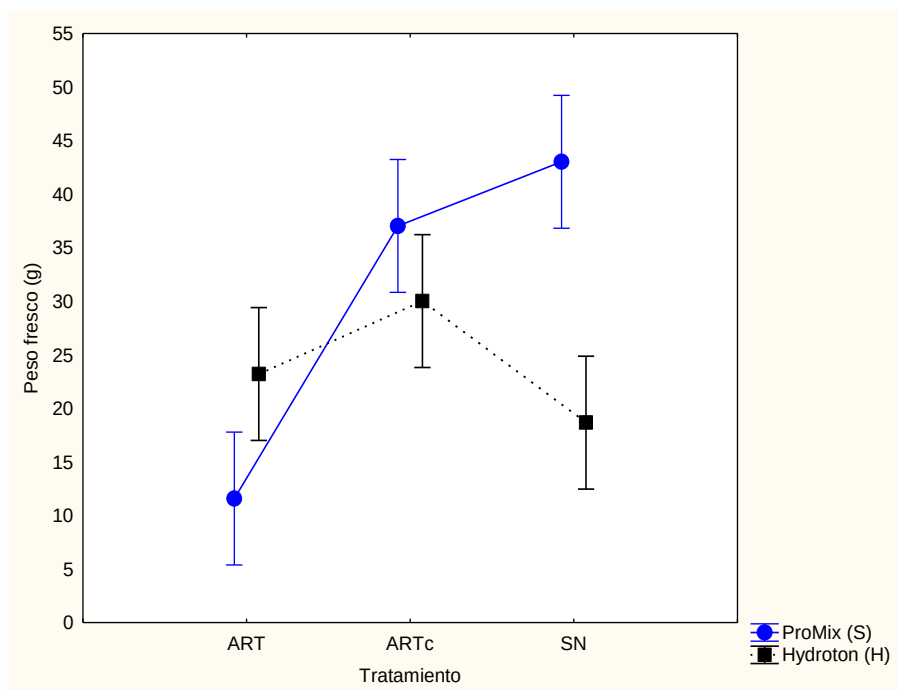


Figura 14. Valores promedio y desviación estándar del peso fresco (gramos) durante el estadio vegetativo #4, en plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

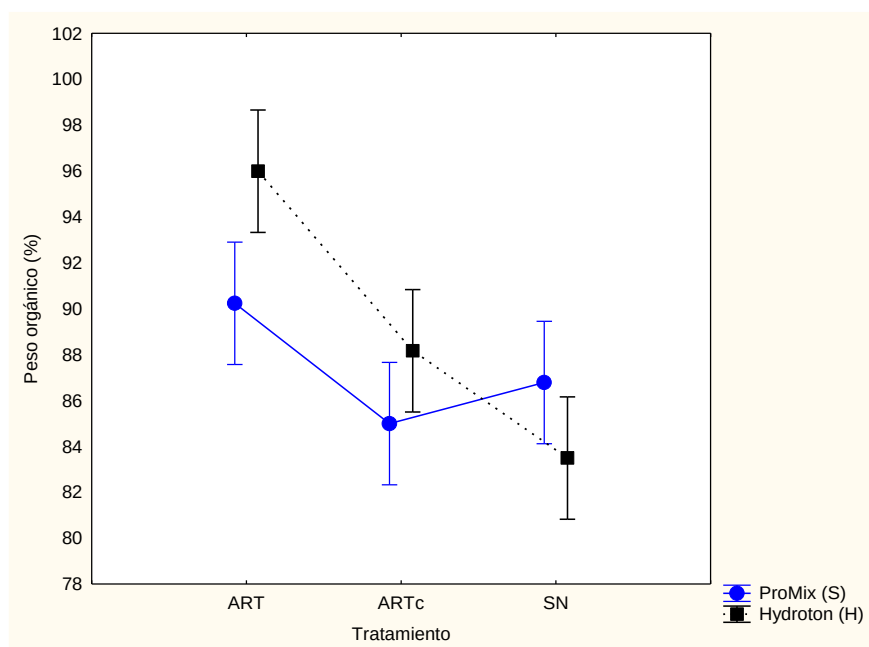


Figura 15. Valores promedio y desviación estándar del peso orgánico (g) durante el estadio vegetativo #4 de plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

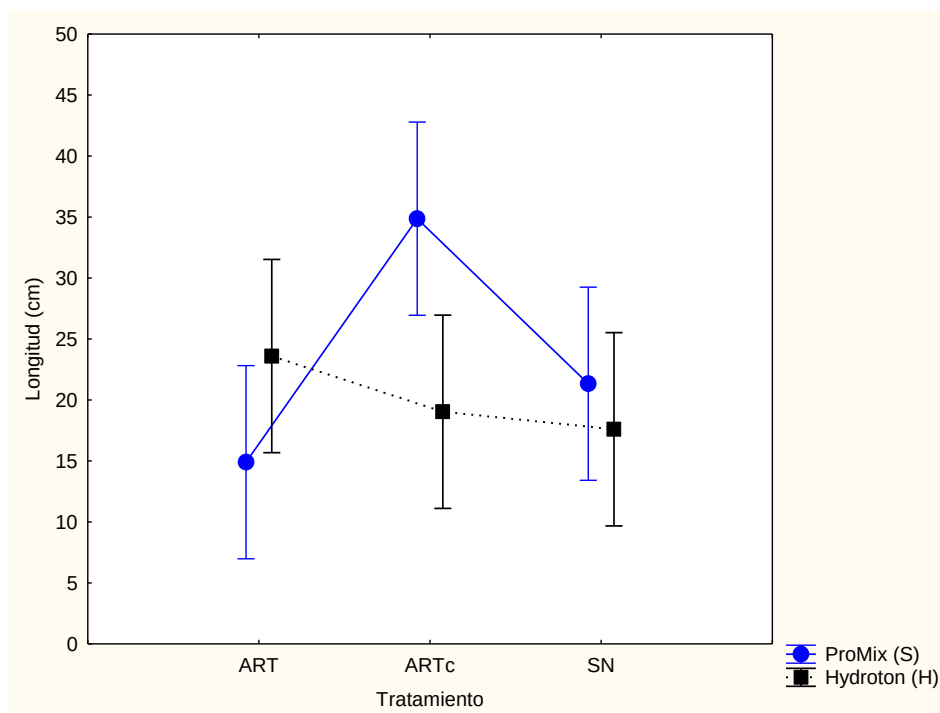


Figura 16. Valores promedio y desviación estándar de la longitud (cm) de la inflorescencia en el estadio 3 y para plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivadas con ART, ARTc y SN, y en dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

En términos de peso de cenizas, se encontró que durante el estadio #1 hubo un efecto por el tipo de agua en el contenido de cenizas totales resultando significativamente menor para ART, comparativamente con ARTc y SN. Este parámetro de crecimiento se ha relacionado previamente con la concentración de minerales en el tejido vegetal (Grzeszczuk y Stefaniak, 2016), por lo que puede asumirse que esta diferencia se debe al contenido de nutrientes en el agua de cultivo durante el estadio #1 y aumentan en los siguientes estadios. Respecto a los resultados obtenidos en estudios previos, se ha reportado que el porcentaje de cenizas para flores como *Viola tricolor* L. y *Lavandula angustifolia* Mill. fue de 5.25% y 2.47%, respectivamente (Grzeszczuk y Stefaniak, 2016), mientras que para *Sesamum radiatum* fue de 13% a 16%, aumentando a medida que crecían las plantas (Oduntan y Olaleye, 2012). Por su parte, el estudio publicado por Dairo y Adanlawo (2007) expone que el porcentaje de cenizas debe oscilar entre 16% y 17%, ya que este parámetro es un indicador de la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas en el sustrato de cultivo. El valor obtenido para las plantas cultivadas con ART en el presente estudio, fue de 6% (lo que concordaría con lo expuesto anteriormente), mientras que en el tratamiento de ARTc fue de 14% y de 16% en el tratamiento de SN.

En términos generales no se evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ARTc y SN, como tampoco entre los sustratos empleados, por lo que se puede aseverar que el ARTc puede ser una alternativa nutricional adecuada para alcanzar la misma calidad en las flores de snapdragon que al emplear una solución nutritiva complementada. No obstante, los resultados obtenidos para ART-S, en muchos de los parámetros medidos, presentan valores significativamente menores comparativamente con los demás tratamientos, por lo que puede asumirse que el ART sin adición de fertilizantes es una alternativa siempre y cuando se use un sustrato que favorezca el crecimiento y oxigenación de la raíz, parámetro que se consideró crucial para el desarrollo de este tipo de plantas, debido a los resultados obtenidos en el estudio, los cuales adicionalmente refutan la teoría preconcebida de que el uso de suelo fértil mejora la calidad de las plantas cultivadas, ya que al tener la misma cantidad de nutrientes en sustrato hidropónico, estas plantas alcanzaron la calidad obtenida por aquellas que fueron regadas con soluciones complementadas.

5.2. Análisis de tejidos vegetales

5.2.1. Absorción de nitrógeno en girasol (*H. annuus*)

El crecimiento y desarrollo de las plantas está sujeto al suministro continuo de cantidades específicas de sales inorgánicas en el sustrato o medio de cultivo. Estas sales proporcionan de diferente manera los iones o nutrientes que requieren las plantas, los cuales son usados para la síntesis de biomoléculas, como las proteínas y los carbohidratos. Dentro de los nutrientes más importantes para las plantas se encuentran el nitrógeno y el fósforo, al igual que el potasio, el calcio, el azufre y el magnesio. En el presente experimento se llevó a cabo la cuantificación de dos de los principales iones, el nitrógeno y el fósforo; no obstante, la relación con otras variables fisicoquímicas y la interacción con otros iones va a ser abordado de manera teórica.

Es importante hacer una aclaración en este punto, puesto que en una primera parte de este apartado se describieron parámetros de crecimiento, los cuales están relacionados con el incremento en peso, en masa, en altura y otras variables biométricas, de las plantas. A partir de ahora se describirá el efecto de los tratamientos y sustratos empleados en el desarrollo de las plantas, es decir, se indagará respecto al cambio morfológico y anatómico de estas a lo largo de su ciclo de vida, diferenciando estadios fenológicos (dependientes de la especie) comprendidos dentro de las tres grandes fases de desarrollo denominadas: fase juvenil, fase vegetativa adulta y fase reproductiva adulta.

De esta manera hay que mencionar que el análisis de tejidos vegetales fue llevado a cabo entre estadios y tipos de agua por separado, por lo que se pudo evidenciar en cual estadio hay una mayor absorción de los nutrientes evaluados (nitrógeno y fósforo) y bajo qué tipo de agua se suplen las necesidades de la planta. Por ejemplo, los girasoles cultivados en ART-H mostraron una absorción significativamente mayor ($P < 0.05$) durante el estadio 2 (4.5%), comparativamente con estadios 1 (0.6%), 3 (3.5%) y 4 (3.4%) . Para el caso de el ART-S, se observa una absorción similar para los estadios 2, 3 y 4 (2%), siendo significativamente mayores que para el estadio 1 (0.5%) ($P < 0.05$) (Figura 17).

La absorción de las plantas crecidas en ARTc, para los dos tipos de sustratos fue similar, mostrando una mayor absorción durante el estadio 4 (6.5%) ($P < 0.05$), comparativamente con los otros tres estadios (Figura 18). Esto es especialmente llamativo, ya que durante este periodo las plantas comienzan la floración. Respecto a absorción de las plantas cultivadas en SN, los datos obtenidos presentaron una distribución anormal, por lo que debieron ser analizados por el método de Kruskal Wallis. En este caso se evidenciaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los estadios, teniendo una mayor absorción en los estadios 3 y 4 (5.5%), comparativamente con los estadios 1 y 2 (0.8%) (Figura 19).

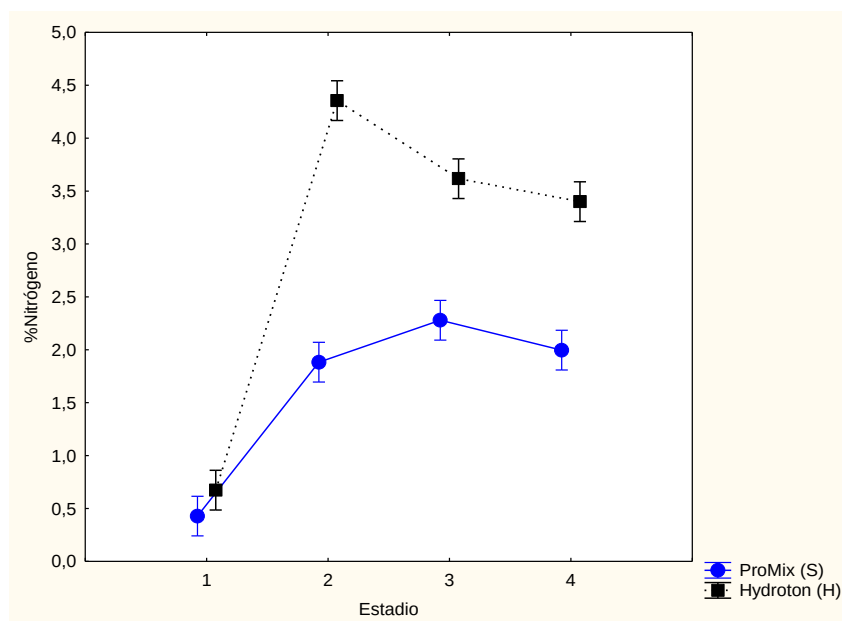


Figura 17. Porcentajes promedio y desviación estándar de la absorción de nitrógeno (N) en girasol (*H. annuus*) cultivados en ART, con dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H) y en los 4 estadios vegetativos observados.

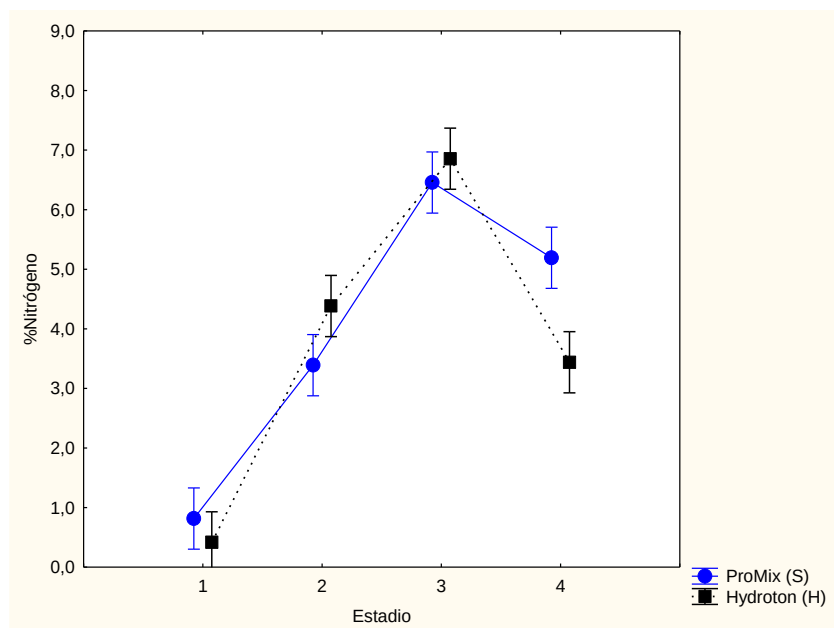


Figura 18. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N) en girasol (*H. annuus*) cultivados en ARTc, en dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

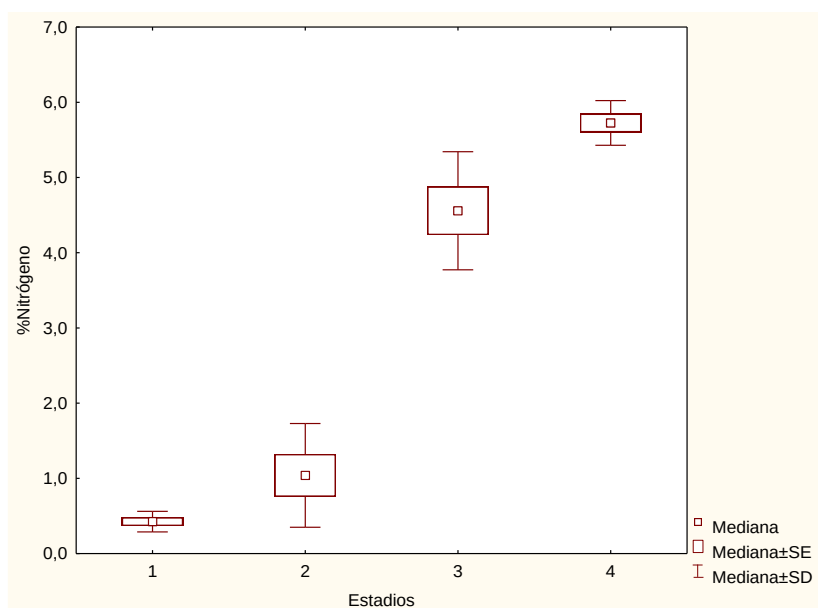


Figura 19. Diagrama de cuartiles del girasol (*H. annuus*) donde se aprecian valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N) en girasol (*H. annuus*) cultivados en SN, con sustrato Hydroton® (H). Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.

La absorción de nitrógeno en las plantas cultivadas en el sustrato ProMix®, durante los estadios 1, 2 y 3, fue mayor en el tratamiento ARTc, comparativamente con los otros tratamientos ($P < 0.05$) (Figura 20, Figura 21 y Figura 22). Durante el estadio 4, el menor valor porcentual fue registrado en ART (Figura 23). En cuanto al Hydroton®, los estadios 1 y 2 de las plantas cultivadas en ART muestran un mayor porcentaje de absorción que para ARTc y SN ($P < 0.05$). En el estadio 3, las plantas cultivadas con ARTc tuvieron un mayor porcentaje de absorción, mientras que para el estadio 4, este valor fue mayor en las plantas cultivadas con SN ($P < 0.05$).

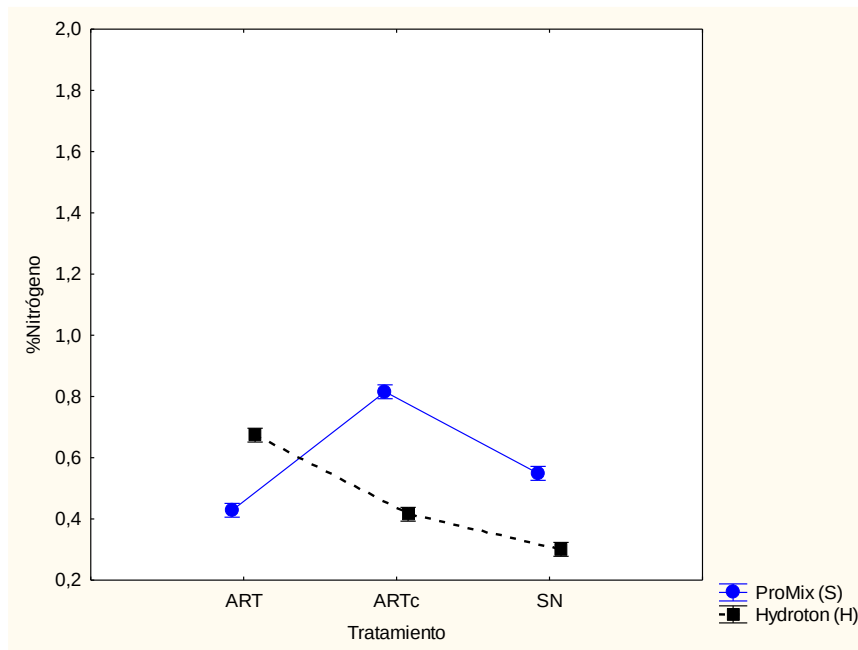


Figura 20. Porcentajes promedio y desviación estándar de la absorción de nitrógeno (N) durante el estadio vegetativo #1, en plantas de girasol (*H. annuus*) cultivadas en ART, ARTc y SN, y con dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

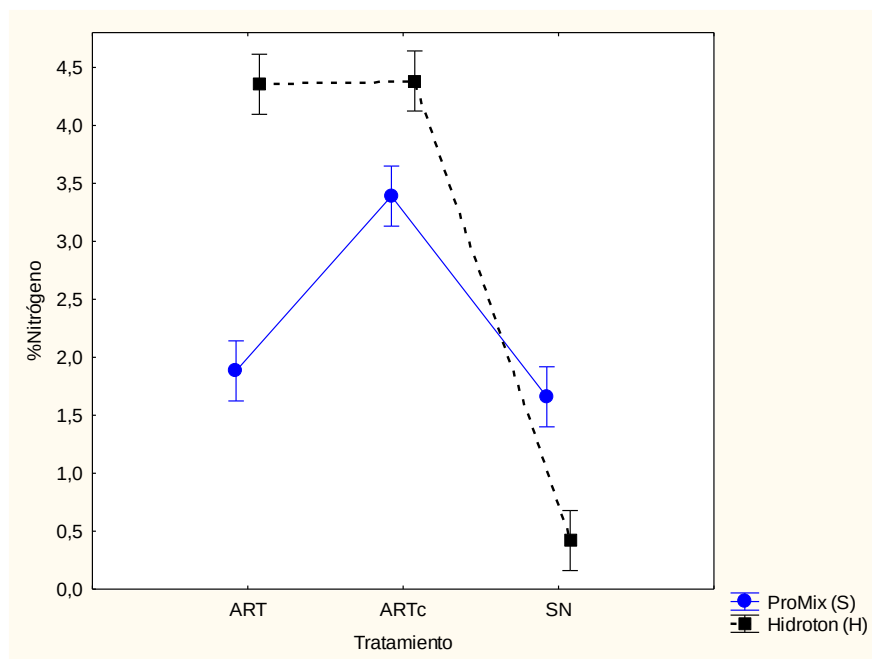


Figura 21. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N) durante el estadio #2, en girasol (*H. annuus*) cultivados en ART, ARTc y SN, con dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hidroton® (H).

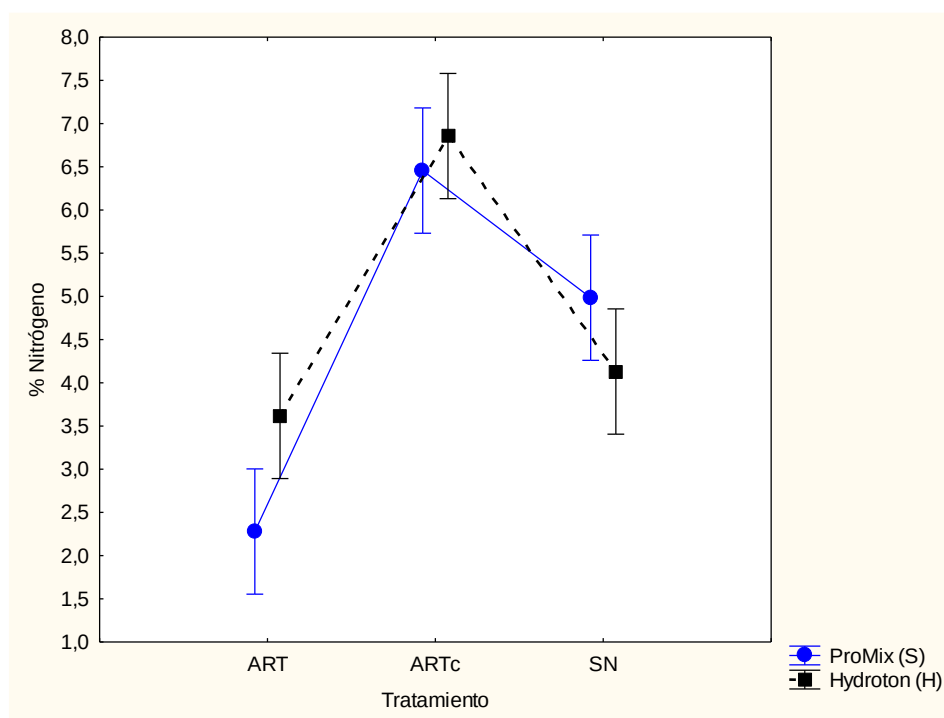


Figura 22. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N) durante el estadio #3, en girasol (*H. annuus*) cultivados en ART, ARTc y SN, con dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hidroton® (H).

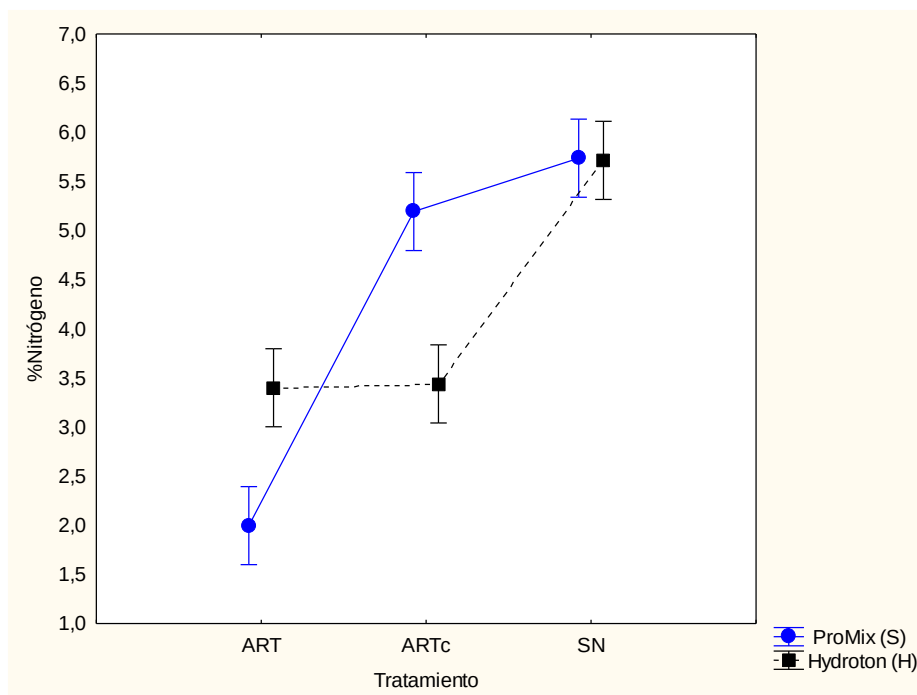


Figura 23. Porcentaje promedio y desviación estándar de la absorción de nitrógeno (N) durante el estadio vegetativo #4, en plantas de girasol (*H. annuus*) cultivadas en ART, ARTc y SN, y con dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

5.2.2. Absorción de nitrógeno en snapdragon (*A. majus*)

Se observó que las plantas presentaron una menor absorción de nitrógeno durante el estadio 1 en los tratamientos de ART y ARTc y en los dos sustratos de cultivo ($P < 0.05$) (Figura 24 y Figura 25). En cuanto a tratamiento de SN, solo en el sustrato de Hydroton™, se observó un porcentaje de absorción de nitrógeno significativamente menor durante el estadio 1 ($P < 0.05$), mientras que para el sustrato ProMix™, los estadios 1, 2 y 4, no muestran diferencias significativas entre ellos (Figura 25).

El tipo de agua no afectó de manera significativa la absorción de nitrógeno para los estadios 2, 3 y 4; no obstante, en el estadio 1 se evidenciaron diferencias significativas en la absorción de nitrógeno de las plantas cultivadas en ProMix®, en donde el ART tiene un menor valor porcentual ($P = 0.020$). Por su parte, en tratamiento SN – Hydroton® tiene un porcentaje de absorción significativamente menor, respecto ART y ARTc ($P < 0.05$) (Figura 27).

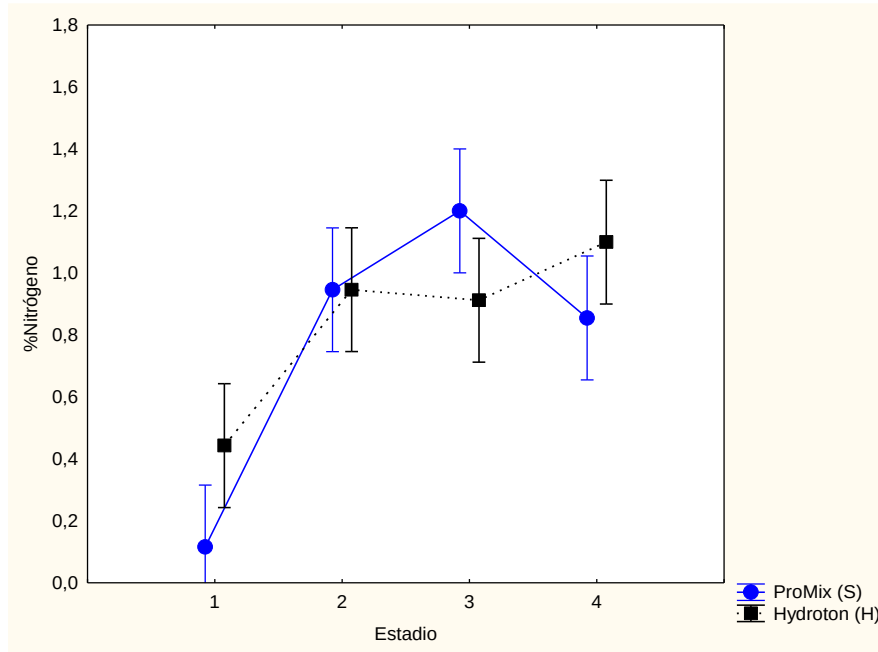


Figura 24. Porcentaje promedio y desviación estándar de la absorción de nitrógeno (N), en plantas de snapdragon (*A. majus*) cultivados en ART y en dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

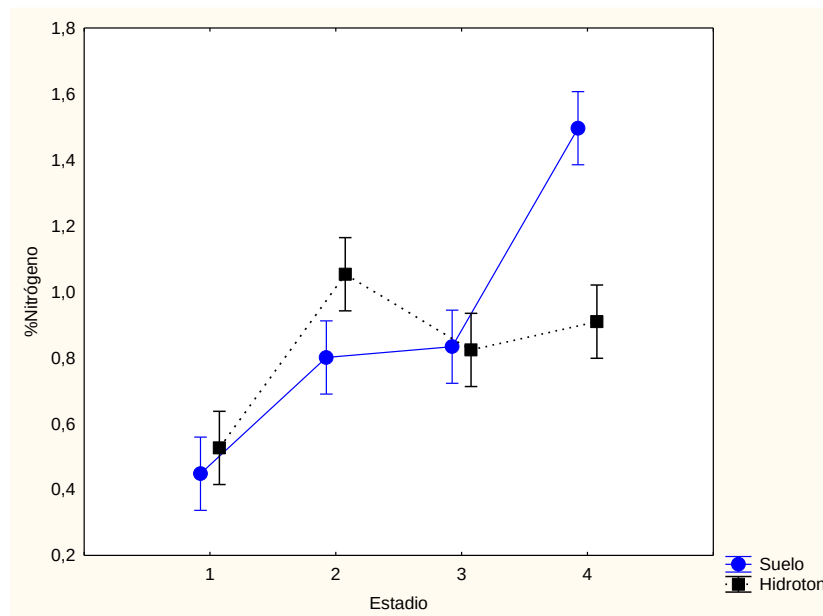


Figura 25. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N), en snapdragon (*A. majus*) cultivados en ARTc con dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

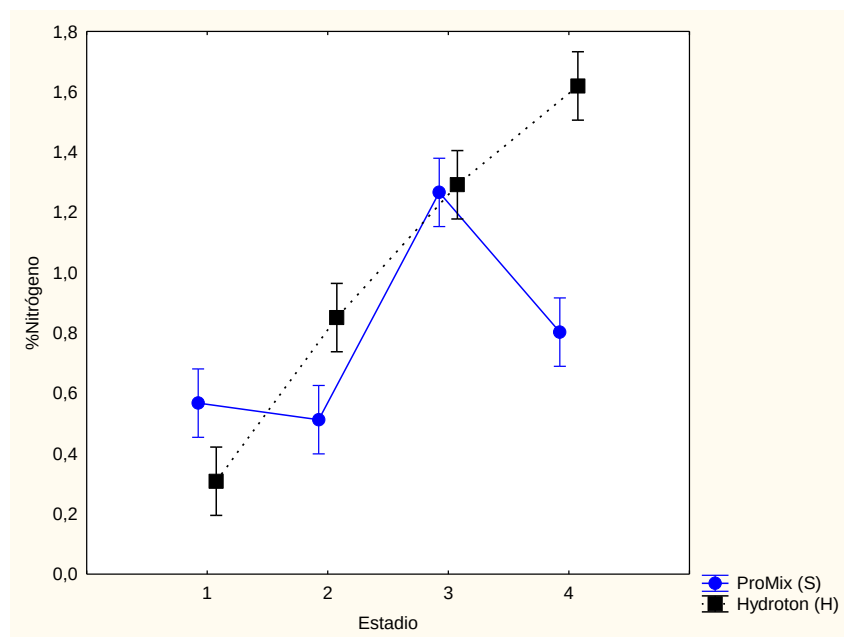


Figura 26. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N), en snapdragon (*A. majus*) cultivados en SN con dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

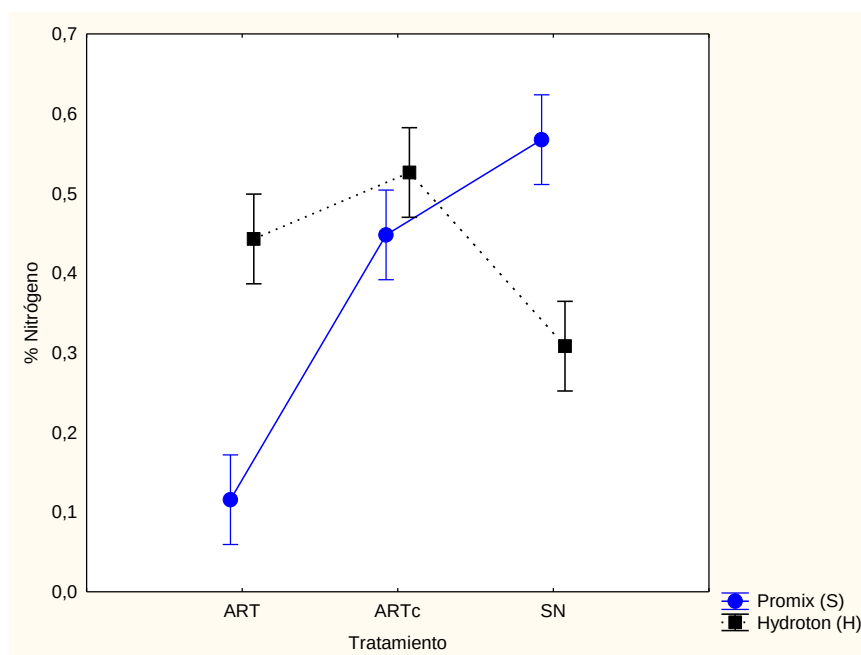


Figura 27. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de nitrógeno (N), en snapdragon (*A. majus*) durante el estadio # 1, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

5.2.3. Absorción de fósforo en girasol (*H. annuus*)

El porcentaje de absorción de fósforo en las plantas de girasol cultivadas en SN con sustrato ProMix®, durante el estadio 1, mostró valores significativamente más altos comparativamente con las plantas cultivadas con ART y ARTc, y en los dos sustratos de cultivo ($P < 0.05$) (Figura 28). De igual manera, durante el estadio 4 los porcentajes más altos de absorción fueron registrados en las plantas cultivadas con SN e Hydroton® ($P < 0.05$) (Figura 29). Respecto a la asimilación de este nutriente en cada uno de los tratamientos, solo se evidenció diferencias para las plantas cultivadas en ARTc, en donde estas tuvieron una significativa mayor absorción de fósforo durante el estadio el 1 ($P < 0.05$) (Figura 2930).

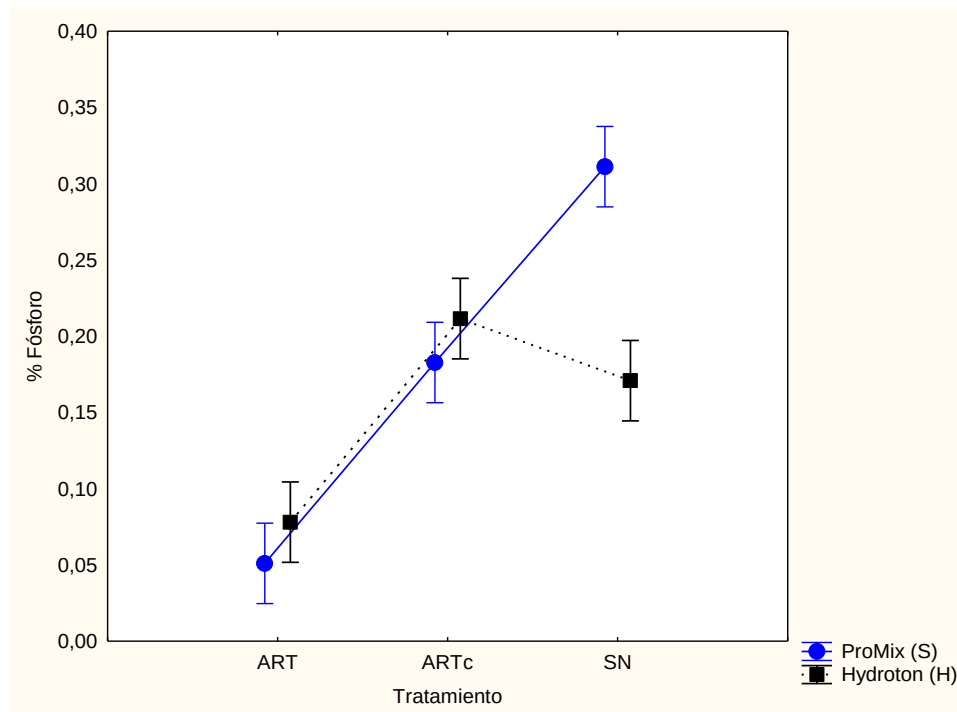


Figura 28. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en girasol (*H. annuus*) durante el estadio #1, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

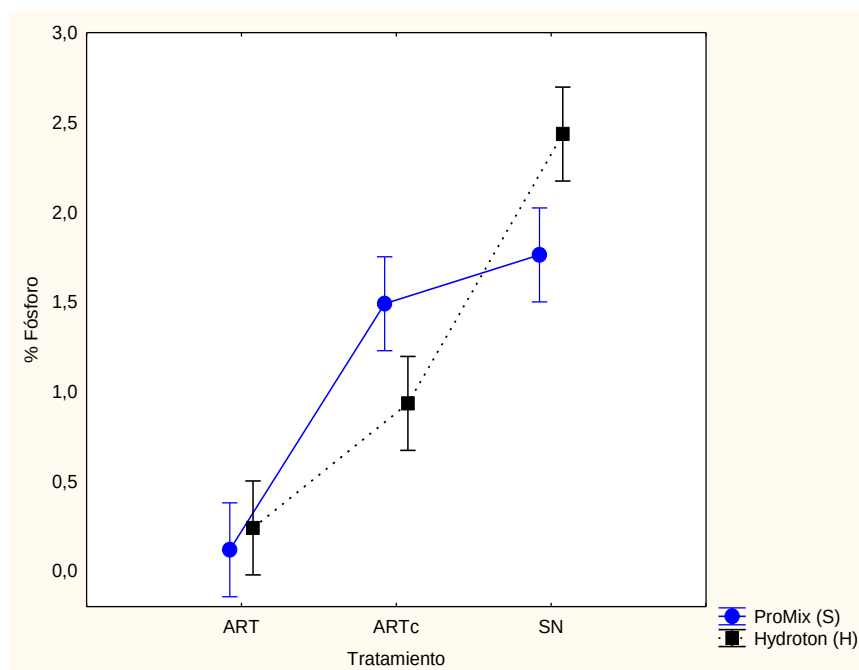


Figura 29. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en girasol (*H. annuus*) durante el estadio 4, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix® (S) e Hydroton® (H).

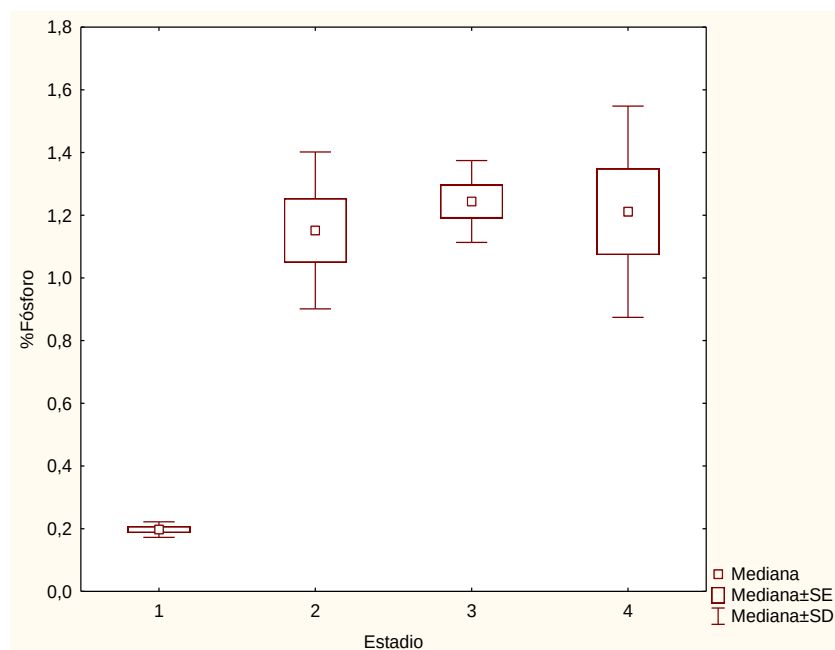


Figura 30. Diagrama de cuartiles del girasol (*H. annuus*) donde se aprecian valores porcentuales de la absorción de fósforo (P) en girasol (*H. annuus*) cultivados en ARTc. Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.8.

5.2.4. Absorción de fósforo en snapdragon (*A. majus*)

Durante el estadio #1, las plantas de snapdragon cultivadas en sustrato ProMix muestran un menor porcentaje de absorción de fósforo en ART que en SN. Para el caso de las plantas cultivadas en ART y SN en sustrato Hydroton®, se observa una absorción significativamente mayor en SN ($P < 0.05$) (Figura 31). En el estadio #3, las plantas cultivadas en ProMix® tuvieron una absorción mayor de Fósforo en el tratamiento de ARTc y SN, que en ART. Las plantas cultivadas en Hydroton® con ART y ARTc presentaron diferencias significativamente menores que SN ($P < 0.05$) (Figura 32). En el estadio #4, el tratamiento ARTc – Hydroton® presento una absorción significativamente mayor que ART y SN. Por su parte, en el sustrato ProMix®, la absorción de fósforo de las plantas cultivadas en SN fue significativamente mayor que para los otros tratamientos ($P < 0.05$) (Figura 33).

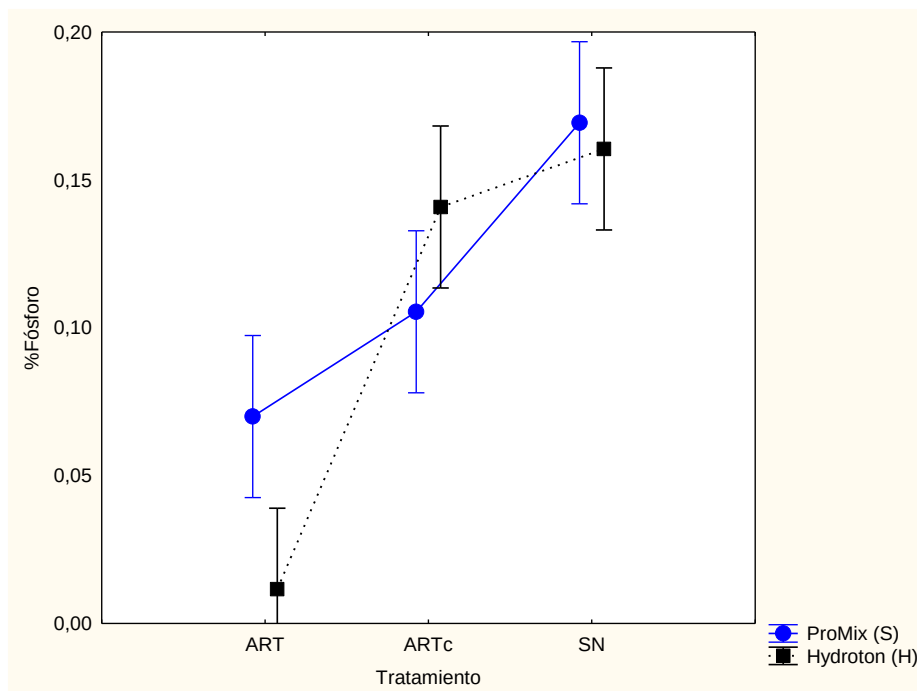


Figura 31. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en snapdragon (*A. majus*) durante el estadio # 1, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

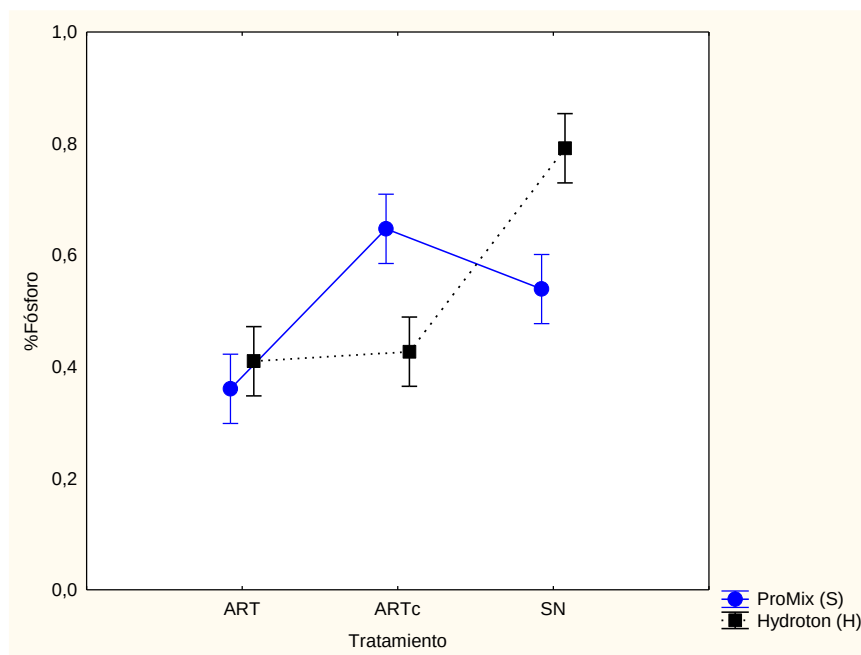


Figura 32. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en snapdragon (*A. majus*) durante el estadio # 3, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

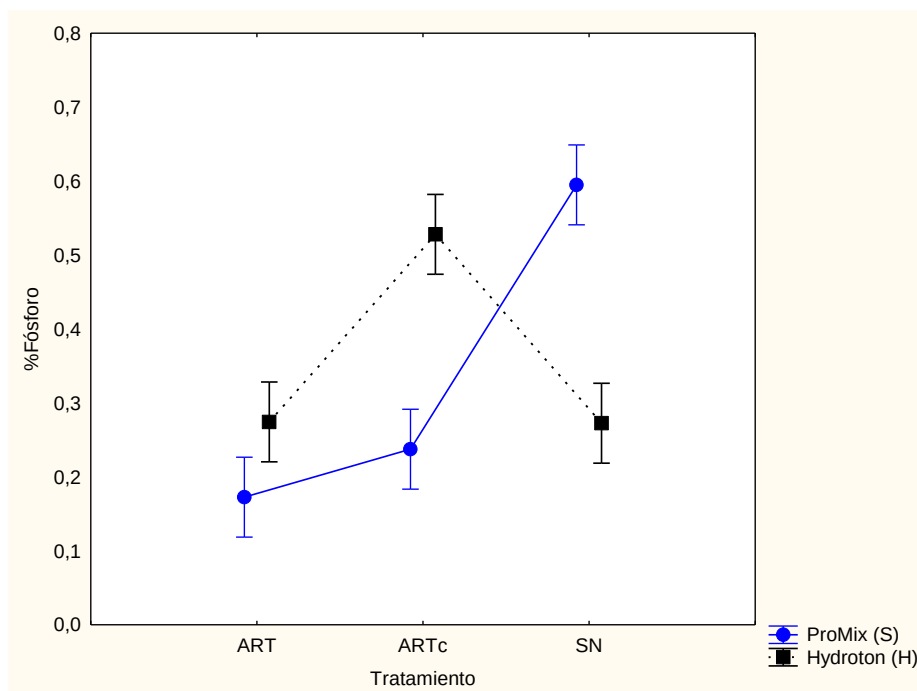


Figura 33. Valores promedio y desviación estándar en valores porcentuales de la absorción de fósforo (P), en snapdragon (*A. majus*) durante el estadio # 4, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, y dos sustratos diferentes: Promix ® (S) e Hydroton® (H).

5.2.5. Acumulación de N y P en girasol y snapdragon

La acumulación de N y P también fue expresada en términos de gramos por planta, observándose que en girasol el N parece tener una mayor acumulación de este nutriente en el estadio #3, manteniéndose la tendencia en el sustrato ProMix® y para los tres tratamientos evaluados (figura 34 - 37). En cuanto al P, en las plantas cultivadas con sustrato Promix®, hay una tendencia al incremento de la concentración de P en los tejidos de las plantas, proporcional al aumento en edad y a la disponibilidad del recurso (figura 38 - 41Error! Reference source not found.); pero, en Hydroton® ART y ARTc muestran una mayor acumulación durante el estadio #3. Por el contrario, el tratamiento de SN tiene su pico de acumulación en estadio #4 (Error! Reference source not found. 40).

En plantas de snapdragon la dinámica de acumulación de N fue similar para los dos sustratos y los tres tipos de agua, observándose un incremento en los estadios 2 y 4 (figura 36 y 37). Respecto al P, la tendencia de acumulación de este nutriente en plantas cultivadas con sustrato ProMix® fue mayor en el estadio # 3 para ART y ARTc, mientras que en SN fue mayor en estadio # 4 (Error! Reference source not found. 40 y 41). En Hydroton®, la absorción de P para ARTc fue similar a la de N, teniendo picos en E2 y E4. Por su parte, ART y SN presentan mayor acumulación en estadio # 3. Los resultados plasmados en las figuras 36 – 41 coinciden con los expuesto anteriormente, pudiéndose apreciar con mayor claridad la dinámica de los datos registrados y, con la ayuda de las ecuaciones de regresión encontradas se puede tener un acercamiento del comportamiento de los nutrientes, de acuerdo con los estadios de crecimiento y los tratamientos.

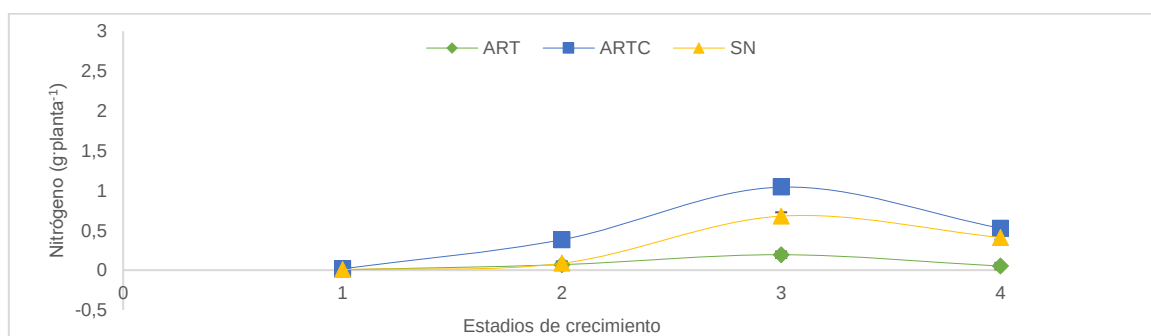


Figura 34. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de nitrógeno (N) en plantas de girasol (*H. annuus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Promix® (S).

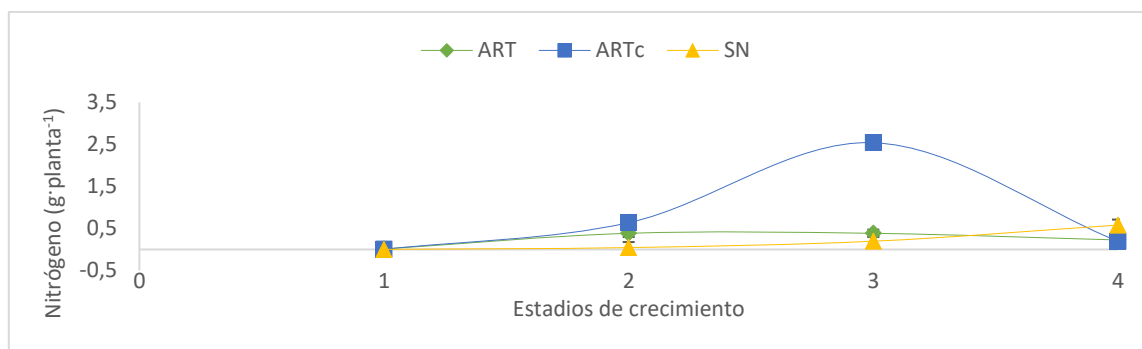


Figura 35. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de nitrógeno (N) en plantas de girasol (*H. annuus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).

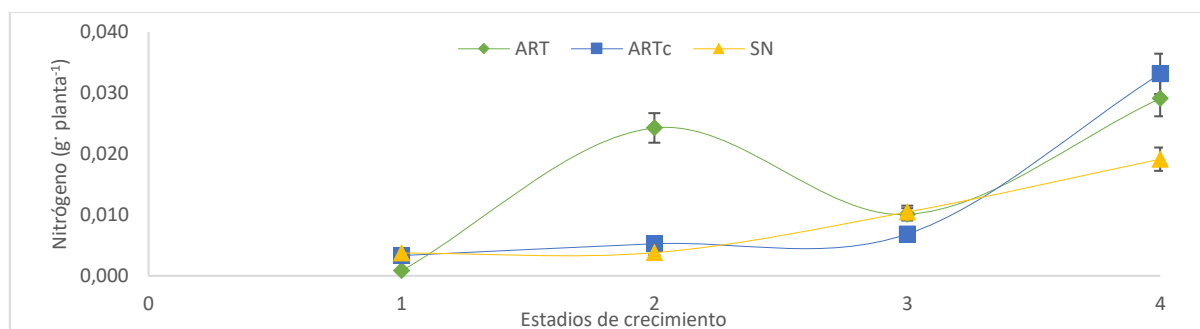


Figura 36. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de nitrógeno (N) en plantas de snapdragon (*A. majus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato ProMix® (S).

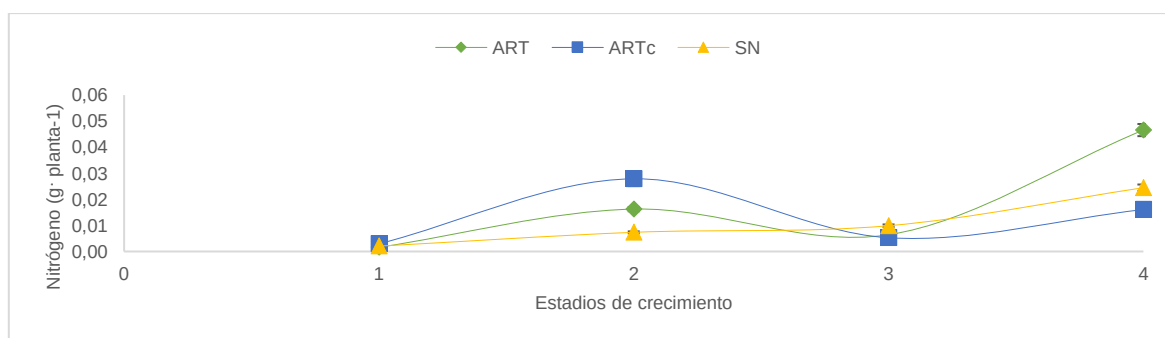


Figura 37. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de nitrógeno (N) en plantas de snapdragon (*A. majus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).

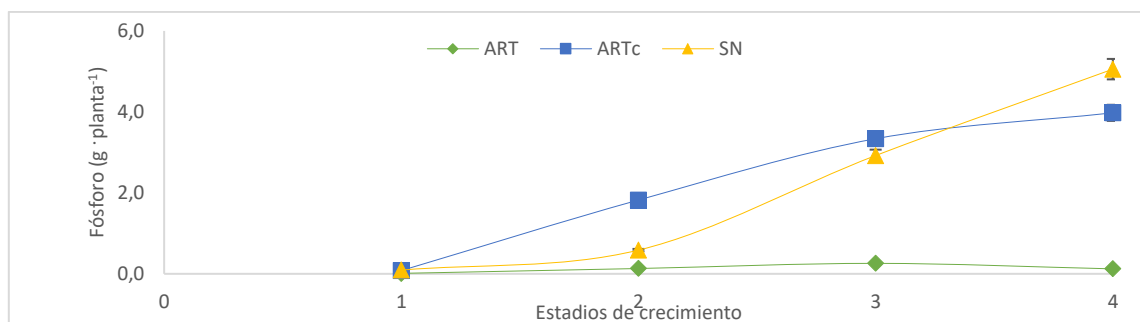


Figura 38. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de fósforo (P) en plantas de girasol (*H. annuus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato ProMix® (S).

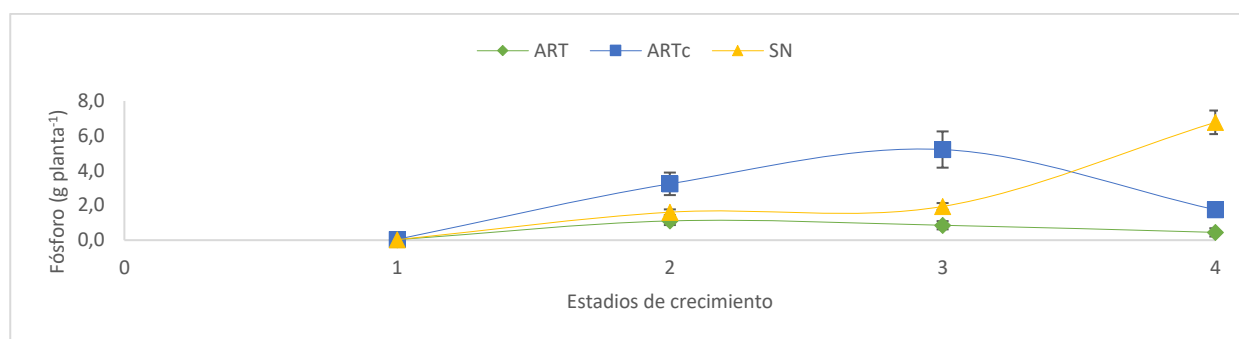


Figura 39. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de fósforo (P) en plantas de girasol (*H. annuus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).

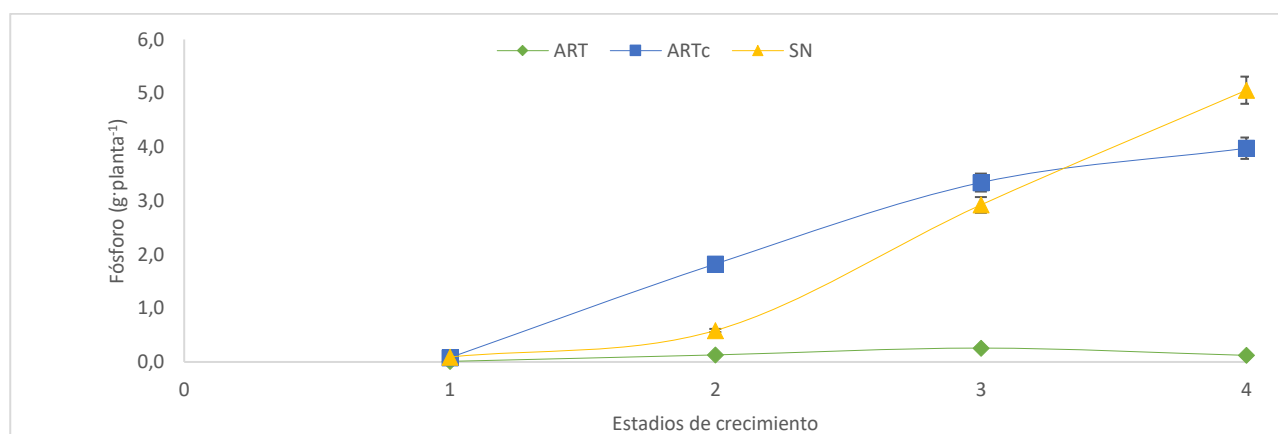


Figura 40. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de fósforo (P) en plantas de snapdragon (*A. majus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato ProMix® (S).

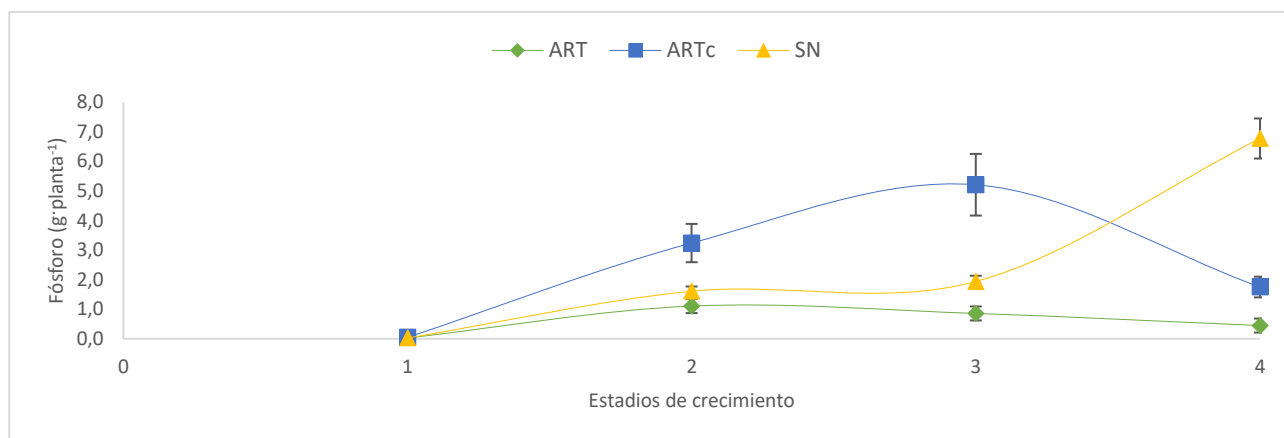


Figura 41. Valores promedio y desviación estándar de la acumulación de fósforo (f) en plantas de snapdragon (*A. majus*) durante los cuatro estadios, cultivados con tres tipos de agua, ART, ARTc y SN, en sustrato Hydroton® (H).

Entonces, unificando los resultados, se observó que las plantas de girasol empleadas en el presente experimento mostraron una mayor acumulación de N durante los estadios 2, 3 y 4, los cuales corresponden a la fase vegetativa adulta y adulta reproductiva, en donde las plantas inician y culminan la generación de flores, evidenciándose, además un efecto del tipo de sustrato en el tratamiento ART. En el caso del snapdragon, la mayor absorción de N fue evidenciada en los estadios 2 y 4, sin observarse tendencia alguna relacionada con el tipo de sustrato empleado. La mayor acumulación de N evidenciada durante los estadios 2, 3 y 4 concuerdan con los resultados reportados por Tolman *et al.* (1990) y Hamlin y Mills (2001) en caléndula (*Tagetes erecta*) y pensamiento (*Viola × wittrockiana*), respectivamente, quienes argumentan que la acumulación de N incrementa con el tamaño de las plantas y con la disponibilidad del nutriente en la solución nutritiva (Ahmad *et al.*, 2012).

El N es un elemento importante durante todo el desarrollo de las plantas, debido a que hace parte de las clorofilas y de otras biomoléculas, como las proteínas. Adicionalmente, se ha evidenciado que promueve el crecimiento vegetativo de las plantas, lo que incrementa su altura, el área foliar y el número de flores (como fue discutido en un apartado anterior). Pescie *et al.* (2018) sugieren que la mayor acumulación de N puede estar relacionada con el ciclo de vida mismo de las plantas, debido a que durante el período vegetativo las reservas de nutrientes se mantienen en las raíces, para posteriormente migrar a otros órganos de las plantas, donde sean requeridos. De esta manera, la migración ocurre durante el período vegetativo, momento en el cual el N, pasaría de las raíces a las hojas, facilitando que tenga lugar la fotosíntesis, proceso que va a ser importante para

la generación de los carbohidratos, que finalmente van a ser acumulados en semillas y frutos (Pescie *et al.*, 2018).

A pesar de que hay resultados similares a lo evidenciado en el presente estudio, también hay algunos reportes que muestran una mayor acumulación de N durante la fase vegetativa. Este es el caso de los trabajos de Bodale *et al.* (2021) en tomate, de Castro-Lima *et al.*, (2021) en pitaya y de Scoggins y Mills (1998) en flor de pascua (*Euphorbia pulcherrima*). De acuerdo con lo descrito por Bodale *et al.* (2021) la mayor absorción durante el período vegetativo puede deberse a que, en el caso de las plantas de tomate, todos los nutrientes, en especial el N, son requeridos para la elongación y formación de hojas. De hecho, estos autores evidenciaron diferenciación en la absorción de N, dependiendo del fertilizante inorgánico empleado, obteniendo mayores concentraciones en KNO_3 que en $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (Bodale *et al.*, 2021).

La relación $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ también influye en la concentración de N asimilada, pues se ha observado que la mayoría de las plantas terrestres tienen una preferencia por la fijación de NO_3^- , a pesar de que resulta energéticamente más costoso este camino (Weber y Burow, 2018). Esto se atribuye a la afinidad que tiene el NH_4^+ con otros cationes como el Ca^{2+} , el Na^+ , el K^+ y el Mg^{2+} , lo cual genera competencia entre iones, ocasionando deficiencias a largo plazo. Este desequilibrio iónico se produce debido al aumento de la entrada de NH_4^+ y salida de cationes en la membrana plasmática, con extrusión de estos iones a la vacuola celular, lo que puede causar síntomas de deficiencia nutricional (da Silva *et al.*, 2016). Efectivamente, se ha reportado en la Flor de Pascua que el mayor suministro de NH_4^+ ocasiona una reducción considerable en la masa radicular, lo que lleva a la disminución en la concentración de Ca^{++} en los tejidos, manifestándose en manchas necróticas y marchitamiento en las hojas (Scoggins y Mills, 1998). De hecho, el nivel óptimo de N- NH_4 para el crecimiento de flores es de 10 a 25% del total de nitrógeno suministrado a las plantas, puesto que se ha reportado que niveles superiores al 25% de N- NH_4^+ conllevan a una disminución lineal en la calidad de las flores (Feigin *et al.*, 1986). De esta manera, según lo establecido por Hoagland y Arnon (1950) la relación óptima es $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ es de 25:75. La relación ya mencionada entre las fuentes de N puede ser la causa por la cual la acumulación de N fue significativamente menor en ART, comparativamente con ARTc y SN, debido a que el ART de la PTAR del Sauzal contenía altas concentraciones de NH_4^+ , superando el aporte de NO_3^- , y como el agua fue usada “cruda”, no hubo un mejoramiento de esta relación a lo largo del experimento. Esto puede corroborarse con la disminución en la biomasa seca generada, lo que da lugar a una menor concentración de N en los tejidos. Pese a esto, se considera que pudo haber algún proceso de

nitrificación promovido por el Hydroton®, ya que hay un incremento en la concentración de NO_2^- y un pequeño incremento en la concentración de NO_3^- .

Respecto a la acumulación de P en el tejido de las plantas se presentó un comportamiento similar al evidenciado para N, en donde la mayor concentración en el tejido de las plantas se dio en los estadios 3 y 4, tanto en girasol como en snapdragon. Estos resultados implican que los estadios reproductivos tienen una mayor acumulación de P, comparativamente con las fases vegetativas, lo que es afín a los reportes elaborados previamente para diferentes especies de plantas (Tolman *et al.*, 1990; Hamlin y Mills, 2001; Carter y Grieve, 2008; de Castro-Lima *et al.*, 2021).

La importancia del P en la formación y desarrollo de la flor radica en que este elemento, además de hacer parte de las células vegetales en forma de ortofosfato inorgánico en el citoplasma y fosfato orgánico en las vacuolas, interviene directamente con los aminoácidos encargados de la síntesis de las antocianinas (Hasanuzzaman *et al.*, 2018) pigmentos que dan color a las flores y que se encargan de facilitar la polinización, de brindar protección a las plantas de los efectos de la radiación UV y contra las enfermedades virales o microbianas (Garzón, 2008). Adicionalmente se sabe que el P está implicado en dar estructura a las raíces y en la formación de brotes, por lo que concentraciones bajas de esta nutriente afectan de manera significativa el desarrollo de las plantas durante todo su crecimiento.

El porcentaje de P registrado en el presente estudio tuvo un valor máximo de 6 g planta^{-1} en girasol y de $0.10 \text{ g planta}^{-1}$ para snapdragon. En estudios previos, el valor obtenido para snapdragon es similar al reportado por da Silva *et al.* (2018) de $0.12 \text{ g planta}^{-1}$, para lechugas regadas con ART complementada; en Pitaya el mayor pico de acumulación fue de $1.24 \text{ g planta}^{-1}$ (de Castro-Lima *et al.*, 2021) y $3.5 \text{ g planta}^{-1}$ en flor de pascua (Scoggins y Milss, 1998). Las diferencias encontradas se deben principalmente a la variación en la morfología y fisiología de las plantas y la cantidad de P disponible en el medio de cultivo.

Respecto a la cantidad de P presente en los tejidos de las plantas, a pesar de que la concentración de nutrientes en las ART es menor a la suministrada con los otros tipos de agua, el porcentaje de asimilación de P fue similar en todos los tratamientos, por lo que se puede concluir que es probable que con una menor concentración de P en la solución nutritiva se obtengan resultados favorables en el rendimiento de estos dos tipos de ornamentales. Un ejemplo de ello fue evidenciado en bulbos de orquídeas, en donde un aumento en la concentración de P de 25 a 200 mg L^{-1} no resultó en cambios en las variables de crecimiento como número de hojas, peso fresco y grosor de los bulbos (Bichsel *et al.*, 2008). Otra teoría respecto al porcentaje de P en tejidos de

plantas regadas con ART, es una mayor disponibilidad o suministro de NH_4^- conlleva a una mayor asimilación de P. Esta relación sinérgica fue descrita por Hasanuzzaman *et al.*, (2018).

Otro posible efecto de la interacción entre el P con otros iones suministrados en la solución nutritiva y presentes en las ART, como el S, el menor número de flores que fue registrado en los parámetros de crecimiento obtenidos en el presente estudio, ya que se ha evidenciado que este ion tiene un efecto antagónico, llevando a una disminución en el rendimiento, específicamente de flores, granos y semillas. De hecho, se ha evidenciado que la aplicación de $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de S disminuye el contenido vegetativo de P en 18% (da Silva *et al.*, 2016).

Por otro lado, las concentraciones de SO_4^{2-} registradas en el presente experimento superan las necesidades planteadas en estudios de nutrición vegetal, incluso de la solución empleada en el presente experimento. A pesar de que no se hizo una cuantificación del contenido de este elemento en los tejidos, se ha establecido que el S es de los nutrientes más importantes, ocupando el 4to lugar, luego del N, P y K. La importancia de este elemento en la nutrición vegetal radica en que, en términos moleculares, el S es componente de la cisteína, aminoácido que actúa como precursor de la metionina de la S-adenosilmetionina, del glutatión, de los sulfolípidos, de los clusters hierro-azufre y de otros transportadores celulares, componentes estructurales y biomoléculas encargadas de los procesos de desarrollo y adaptación al estrés. En términos biológicos el S incrementa la toma de NPK, promueve la fijación de N, incrementa la productividad de las plantas, acelera el desarrollo de las raíces, ayuda en la formación de clorofila e incrementa la fotosíntesis (Hasanuzzaman *et al.*, 2018).

Pese a esto, un exceso en la concentración de S, como es posible que haya ocurrido en el presente experimento, ocasiona una reducción en el crecimiento y la aparición de amarillamiento y necrosis en las hojas (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Esto último pudo evidenciarse en algunas hojas, sin embargo, como no se hizo un seguimiento en tejidos de este elemento, es difícil determinar la causa real de este síntoma. A pesar de esto, se puede concluir que no es necesario suplementar este nutriente en el ART, puesto que las concentraciones reportadas suplen las necesidades establecidas para las plantas objeto del experimento.

Las altas concentraciones de Cl^- y Na^+ en las ART empleadas (con y sin adición de fertilizantes) pudieron tener un efecto en la absorción de nutrientes como el Ca^{+2} , el Mg^{+2} y el K^+ , especialmente en el ART, ocasionando diferencias significativas en algunos parámetros de crecimiento entre los tratamientos, puesto que no hubo suministro de macro ni micronutrientes (Grattan y Grieve, 1999), lo que hace más relevante la condición de escasez. En el caso del Ca^{2+} y el K^+ , la absorción de estos iones disminuye por el incremento en la concentración Na^+ , lo cual lleva

a la reducción de la fotosíntesis, la respiración y la clorofila. Hasanuzzaman *et al.* (2009) observó en cultivos de arroz que la altura y el área de las hojas disminuye con el exceso de los iones ya mencionados. Dolatabadian *et al.* (2011) y Semiz *et al.* (2012) también evidenciaron una disminución en el peso de raíces y brotes, en el número de hojas, en la biomasa y rendimiento en soya y en hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill).

Al contrario de lo descrito anteriormente, Carter y Grieve (2008) obtuvieron un incremento proporcional en la concentración en tejidos, de los elementos Ca, Mg, Na, Cl y S en snapdragon expuestos a diferentes salinidades (2.5 – 14 dS m⁻¹). Respecto a los K y P total la concentración en tejidos disminuyó a medida que aumentaba la conductividad. Esto se atribuye a la tolerancia a la salinidad de la especie, al igual que a la disponibilidad de los iones en el medio de cultivo, como ya se mencionó en el párrafo anterior. Sin embargo, aunque en el tratamiento ARTc se empleó el mismo tipo de agua que en ART, la diferencia en los rendimientos alcanzados y en la calidad de las flores puede atribuirse a los complementos nutricionales con los que contaba este tratamiento y a las correcciones en pH que se efectuaron, ya que se ha evidenciado que el complemento con micronutrientes incrementa la selectividad en la raíz y hojas de iones K⁺ y Mg⁺², mientras que el Na⁺ se acumula en los tallos y brotes, lo que limita su movilidad. De igual manera se ha demostrado que bajo condiciones de estrés ocasionado por los iones de Cl⁻ y Na⁺ en exceso, los pH bajos favorecen la toma y asimilación de micronutrientes en las plantas.

5.2.6. Balance de masas de N y P en los Sistemas Hidropónicos

La cuantificación del flujo de N y P se puede observar en las Figura 42 y Figura 43 considerándose la adición de estos a lo largo del período de cultivo como un 100%. No se puede diferenciar la distribución de nutrientes entre las plantas cultivadas, ni entre los sustratos evaluados, debido a que el contenedor donde se adicionaba la solución nutritiva con las diferentes características químicas era compartido. Sin embargo, se puede apreciar la repartición de N y P en la biomasa vegetal y el porcentaje “residual” o restante, que se considera perdido, retenido en los sustratos o usado como alimento para microorganismos desarrollado en el sistema. En el caso de N, para ART se observa que casi el 100% del nutriente adicionado fue almacenado en los tejidos vegetales, mientras que para ARTc y SN, el porcentaje de absorción es de 85% y 74%, respectivamente. Respecto al P, su dinámica fue similar para los tres tipos de agua, observándose que más del 70% fue acumulado en tejidos vegetales, quedando un residual de aproximadamente 30%.

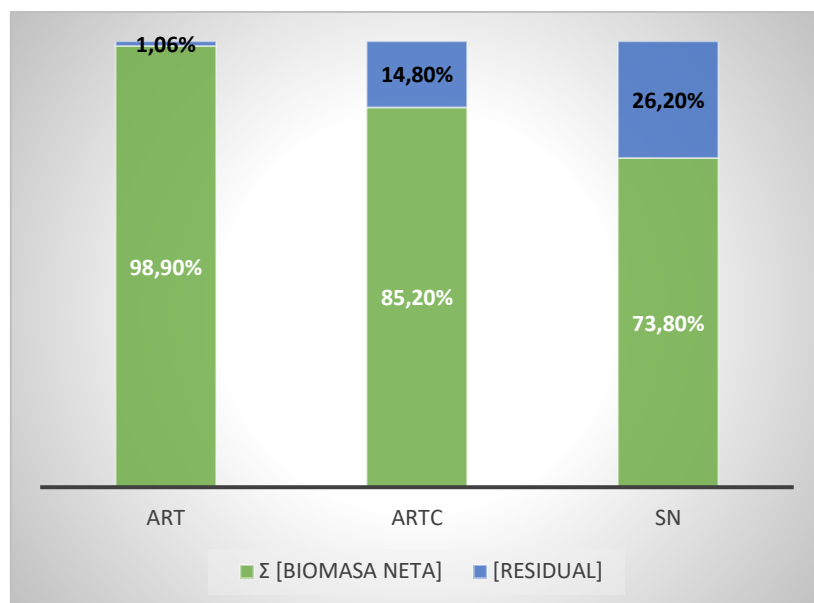


Figura 42. Distribución relativa del total de N en valor porcentual en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados con tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos de cultivo: ProMix® e Hydroton®. La distribución de N fue calculada con base en la biomasa final de las plantas, el volumen total del agua y la cantidad total de N usada durante el experimento.

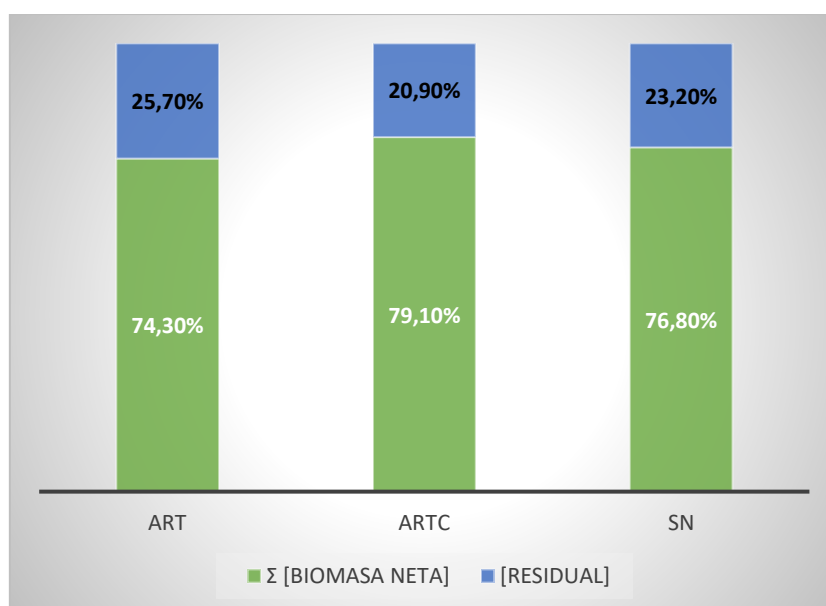


Figura 43. Distribución relativa del total de P en valor porcentual en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados con tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos de cultivo: ProMix® e Hydroton®. La distribución de P fue calculada con base en la biomasa final de las plantas, el volumen total del agua y la cantidad total de P usada durante el experimento.

Los porcentajes de acumulación obtenidos en el presente estudio son mayores a los reportados para tomate hidropónico por Yang-Kim (2020) y Sanjuan-Delmás *et al.* (2020), de 40% y 24%, respectivamente. En cuanto al P, la acumulación en biomasa de este nutriente tuvo valores más similares entre los tipos de agua, siendo de 74% para ART, 79% para ARTc y 76% para SN. Comparativamente con estudios previos, nuevamente el valor obtenido en el presente estudio es mayor, ya que se reportó 21% por Yang-Kim (2020) y 57% por Sanjuan-Delmás *et al.* (2020).

La diferencia entre los porcentajes obtenidos con los reportados puede atribuirse al tipo de planta cultivado, al sustrato empleado y a la calidad del agua de riego. Respecto al tipo de planta, el tamaño de esta repercute en la cantidad de nutrientes almacenados, por lo cual es posible que los valores no puedan ser comparados fielmente. Adicionalmente, gran parte de las reservas alimenticias de las plantas frutales se destinan al fruto, por lo que es posible que las enmiendas realizadas disminuyan el área foliar, lo que llevaría a una disminución en la biomasa, comparativamente con las plantas ornamentales. Respecto al sustrato, es bien sabido que no todos los sustratos hidropónicos cuentan con la misma capacidad de intercambio catiónico (CIC). En el estudio realizado por Sanjuan-Delmás *et al.* (2020), la perlita, medio de cultivo empleado, cuenta con una CIC de $1.5 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, mientras que el Hydroton®, presenta valores de CIC de 56 a $63 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$, esto, aunado a la baja intensidad de riego ($2 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$) empleada en el cultivo de tomate hidropónico, pudo ocasionar que los nutrientes no fueran retenidos el tiempo suficiente para que las plantas los tomarán de la solución nutritiva (Li *et al.*, 2018). El tipo de sistema hidropónico empleado pudo influir en los bajos porcentajes obtenidos por Yang y Kim (2000), debido a que al emplear un sistema NFT, con sustrato tipo espuma (Foamy), el tiempo de retención de los nutrientes puede ser menor, por lo que el contacto de las raíces con la solución nutritiva puede ser limitado.

En cuanto a la solución nutritiva, en el caso específico del ART, se ha reportado que cuando las plantas son expuestas a condiciones de estrés abiótico, adaptan las células de manera tal que se asegure su supervivencia. Una de las modificaciones que más se ha reportado ante estrés nutricional, es el incremento en el área de las raíces adventicias, las cuales permiten que haya una mayor penetración del sustrato de cultivo (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). En los tratamientos ARTc y SN, los porcentajes obtenidos como residuos indican que puede haber un exceso de fertilizantes o condiciones fisicoquímicas que limitarán la absorción. A pesar de que no se evidenció efectos en el rendimiento y en la calidad de las flores, como se mencionó, la concentración de Na^+ y Cl^- , si pudo afectar la fijación de diferentes iones, lo que llevo a que las plantas no tuvieron un desarrollo 100% completo.

En términos de la calidad microbiológica del agua (la cual no fue medida en el presente estudio, pero debido a la influencia que tiene en la nutrición y absorción de los nutrientes, debe ser contemplada) se han observado relaciones sinérgicas entre las raíces y los microorganismos del suelo agrícola, que facilitan la degradación de iones, entre ellos el N y el P. Un caso que ha sido ampliamente documentado es el efecto de las micorrizas en el aumento de la disponibilidad de PO_4^- en el suelo. Esto incluso ha sido corroborado evolutivamente, encontrando que la mayoría de las especies de angiospermas son micorrícicas (Shao *et al.*, 2018). Otros efectos que favorece la presencia de ciertos microorganismos en el agua es la síntesis de fitohormonas, como las auxinas y el ácido indol acético, las cuales promueven el crecimiento de las raíces y la proliferación de pelos radicales. De igual manera, las bacterias inhiben el crecimiento de fitopatógenos (Poulton *et al.*, 2002) y llevan a cabo procesos de transformación química, como la nitrificación.

Pocos estudios han abordado el desarrollo de comunidades bacterianas en sistemas hidropónicos, sin embargo, es posible que el ART además de contener bacterias y microorganismos patógenos para el humano, también sean fuente de organismos benéficos que desarrollen relaciones en la rizosfera, similares a las descritas en el suelo. Respecto a esto, la revisión realizada por Waechter-Kristensen *et al.* (1999) sugirió que la rizosfera en sistemas hidropónicos con sustrato sólido (como es el caso del presente estudio) es similar a la previamente establecida en suelo, en donde, las comunidades bacterianas que la habitan varían dependiendo de su lugar de fijación. El interior y exterior de las raíces generalmente esta densamente poblada por microorganismos (especialmente bacterias: 10^7 - 10^9 ufc·g raíz fresca), mientras que el sustrato y la solución nutritiva tiende a estar habitada por una menor concentración de microorganismos (bacteria: 10^6 - ufc·ml⁻¹; hongo: 10^1 - 10^3 ufc·ml⁻¹). De hecho, algunos estudios han demostrado que los exudados de las raíces estimulan selectivamente la colonización de comunidades bacterianas, por lo que se crean poblaciones únicas en la rizosfera, dependiendo de la especie de planta (Broeckling *et al.*, 2008; Micallef *et al.*, 2009).

5.3. Parámetros productivos

El índice de Calidad (IC), parámetro que establece la robustez de las plantas y la TRC, la cual indica la velocidad con la que crecen las plantas, fue calculada para los estadios 3 y 4 de cada una de las plantas (Figura 42). En plantas de girasol, el IC mostró diferencias significativas para el estadio 4 ($P = 0.011$), siendo mayor en ART ($1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$) que en ARTc ($0.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$) y SN ($0.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$).

¹⁾ (Figura 44). En lo que respecta a las plantas de snapdragon no se registraron diferencias significativas para este parámetro en ninguno de los tratamientos y sustratos ensayados.

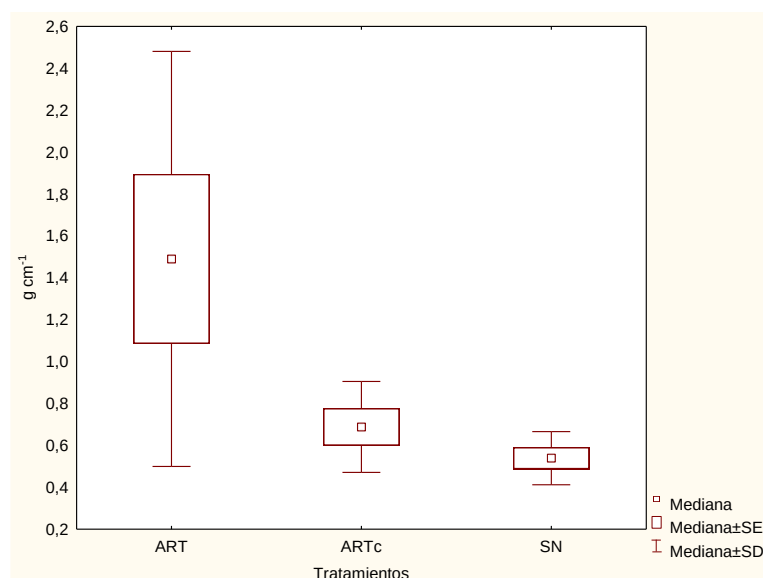


Figura 44. Diagrama de cuartiles del índice de Calidad (IC) para girasol (*H. annuus*) en el estadio 4. Las cajas encierran el 50% de los percentiles junto con el valor de la mediana y los bigotes representan, cada uno, el 25 % del percentil restante.

Respecto a la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) en las plantas de girasol cultivadas en sustrato ProMix® se evidenciaron diferencias significativas en los estadios 3 y 4 del tratamiento ART ($0.06 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$), y valores significativamente menores ($P < 0.05$) en las plántulas cultivadas bajo los tratamientos ARTc y SN ($0.09 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$). Las plantas cultivadas con sustrato de Hydroton®, durante el estadio 3, y en ARTc ($0.10 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) mostró valores significativamente mayores que las plantas cultivadas en ART y SN ($0.08 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$). No obstante, durante el estadio 4 no se evidenciaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos ensayados (Figura 45 y 46).

En cuanto a la tasa relativa de crecimiento obtenida para snapdragon durante el estadio 3, las plantas sembradas en sustrato ProMix® y cultivadas con ARTc ($0.08 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) obtuvieron un valor significativamente mayor que las plantas cultivadas en ART ($0.04 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) ($P < 0.05$) (Figura 47). En el estadio 4 se observó que el tratamiento SN ($0.06 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) fue significativamente mayor comparativamente con las plantas cultivadas en ART y ARTc ($0.04 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) ($P < 0.05$). En el Hydroton®, durante el estadio 3 no se evidenciaron diferencias significativas. Pese a esto, el estadio 4 mostró una mayor TRC en ARTc ($0.06 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) ($P < 0.05$) (Figura 48).

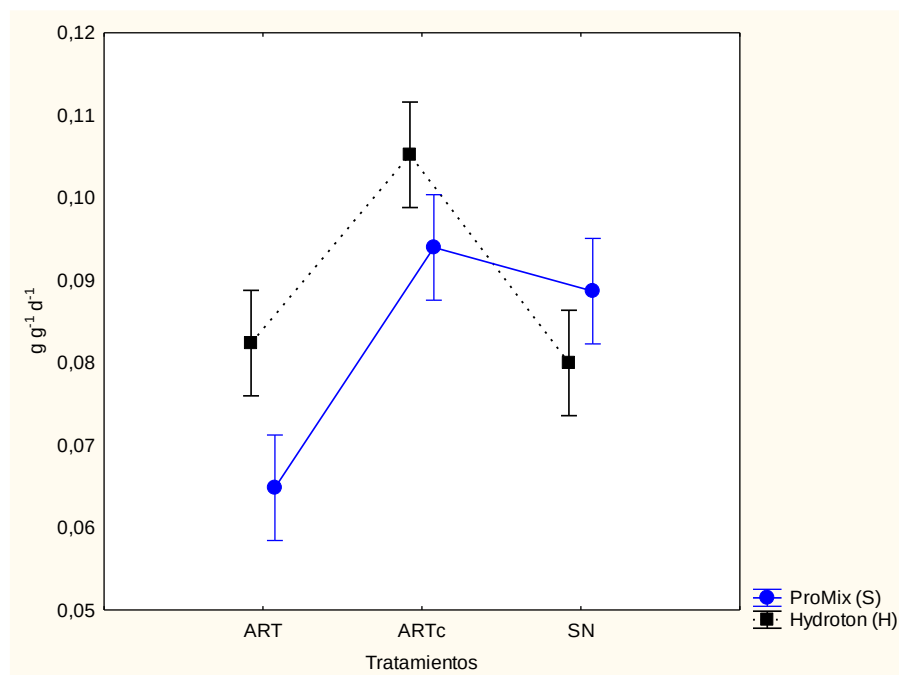


Figura 45. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) en el estadio 3 de girasol (*H. annuus*) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.

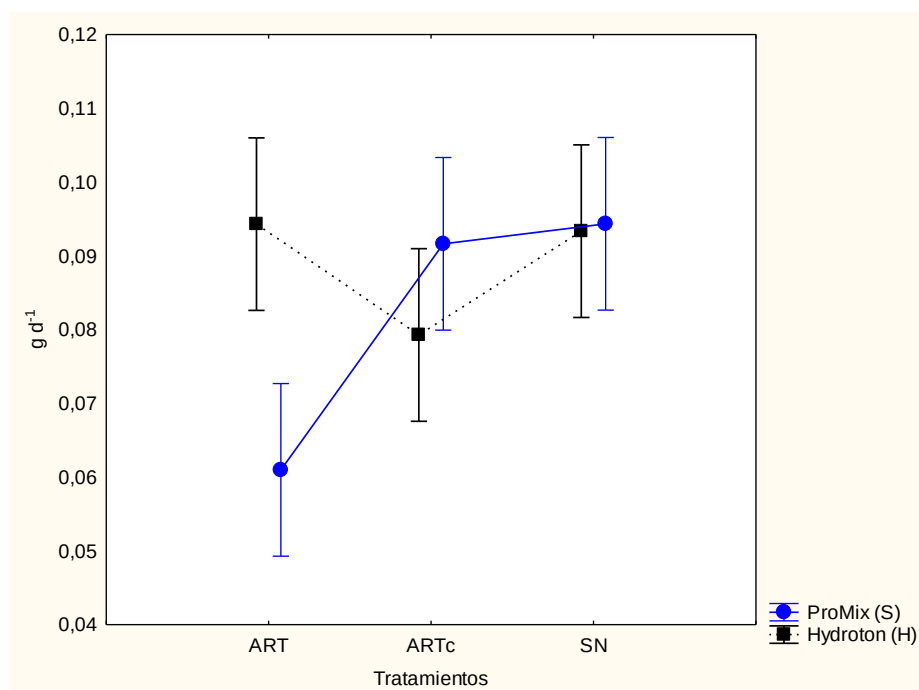


Figura 46. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$) en el estadio 4 de girasol (*H. annuus*) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.

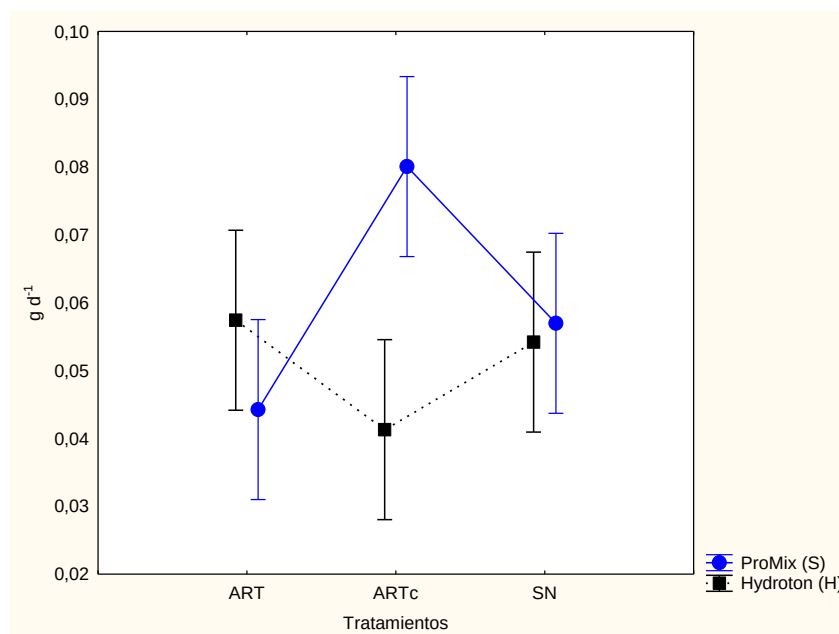


Figura 47. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día (g·d⁻¹) en el estadio 3 de snapdragon (*A. majus*) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.

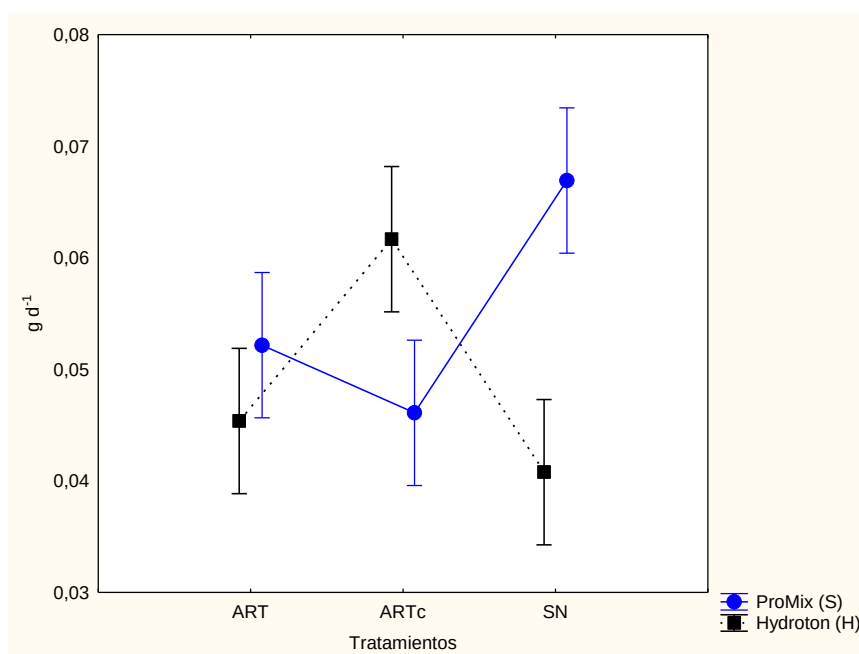


Figura 48. Valores promedio y desviación estándar en gramos por día (g·d⁻¹) en el estadio 4 de snapdragon (*A. majus*) cultivado en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®.

Las dos especies de flores cultivadas en el presente experimento arrojaron valores de TRC que oscilan entre $0.06 - 0.13 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ (estadio 3) y entre $0.06 - 0.10 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ (estadio 4). El comportamiento de esta variable entre los estadios de crecimiento concuerda con lo descrito por Benedetto y Tognetti (2016) en donde la acumulación de biomasa durante los primeros estadios de crecimiento es mayor que en estadios reproductivos o adultos. Esta diferencia se debe principalmente a la proporción de tejidos meristemáticos, la cual disminuye a medida que la planta se acerca a la senescencia, por tal razón, la TRC al inicio tiende a ser mayor comparativamente con los estadios adultos, en donde decrece, de manera significativa o parcial, dependiendo de la especie de planta.

Para el caso específico de girasol, se evidenció que la TRC obtenida durante el estadio 3 fue significativamente más alta para ARTc - Hydroton® y ARTc - Promix® siendo en promedio de $0.10 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. En cuanto al E4 se obtuvo que la TRC para ART-S es significativamente menor, comparativamente con los demás resultados, siendo en promedio la TRC obtenida de $0.08 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Este valor es superior al reportado por (Dhillon y Sharma, 2016), en donde se evaluó el efecto de la fecha de siembra, la distancia entre plantas y la dosis de N en diferentes variables de crecimiento y de producción de girasol. En este estudio se reportaron TRC que variaban entre $0.032 - 0.041 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ para el tiempo de cultivo inicial (25 – 50 días después de la siembra) y $0.002 - 0.007 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ en los estadios de madurez (75 días después de siembra – madurez). En el estudio de Dhillon y Sharma (2016) adicionalmente se evidenció el efecto de la suplementación de N, en los estadios iniciales, en donde hubo diferencias entre la aplicación de $0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, comparativamente con la dosis de 60 y $75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. La obtención de TRC mayores a las obtenidas en el estudio descrito anteriormente pueden deberse a la época de siembra o a la variedad empleada. Respecto a la época de siembra, mientras que el presente estudio fue llevado a cabo durante la época verano-otoño (en donde la temperatura y el fotoperíodo son mayores), el estudio realizado por Dhillon y Sharma (2016) se desarrolló a finales del invierno, por lo que la acumulación de gramos y de grados días por las plantas pudo ser menor.

Un resultado menor al obtenido en el presente estudio fue el reportado por Furtado y Chaves (2018) en el que se evaluó la eficiencia en el crecimiento y la capacidad de adaptación de plantas de girasol variedad Embrapa 122/V2000, cultivadas bajo diferentes concentraciones de carbón vegetal. El valor promedio obtenido para la TRC fue de $0.05 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, durante los 30 a 60 días después de la siembra; sin embargo, el comportamiento de la TRC mantuvo la tendencia ya descrita, en donde para el final del ciclo de cultivo (60 a 90 días), este valor descendió. En este caso la TRC arrojó valores de $0.05 - 0.010 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Pese a que la tendencia a la disminución de la TRC

es definitiva, se observó un efecto de la adición de carbón vegetal en concentraciones superiores a los 400 g por maceta, a partir de los cuales se aprecia que la TRC para la etapa de ontogenia alcanza un incremento de 0.05 a 0.010 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Este comportamiento puede deberse a la adaptación de las plantas a estrés nutricional, después de los 60 días, luego de los cuales se ha evidenciado que ajustan sus funciones fisiológicas aumentando la probabilidad de supervivencia. Esto fue observado en plantas de girasol expuestas a altas condiciones de estrés salino, en donde, a partir de los 60 días las plantas alteraron la permeabilidad osmótica de las membranas, mecanismo característico de las plantas halófitas para vivir en ambientes con condiciones alta salinidad.

La TRC registrada para el estadio 3 de snapdragon fue de 0.05 – 0.08 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, siendo más alto el valor obtenido por ARTc-S. Para el estadio 4, la TRC fue de 0.04 – 0.06 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, teniendo un valor significativamente mayor SN-S. El comportamiento de la TRC corresponde con lo descrito para girasol y para otras especies de plantas, en donde, a medida que se llega a la edad adulta, período durante el cual disminuye la eficiencia de la planta para producir nuevo material vegetal, la TRC también decrece. Los resultados de la TRC concuerdan con la tendencia evidenciada al cuantificar el número de hojas y el peso fresco de las plantas para el E3, en donde los valores más altos registrados para estos parámetros se alcanzan en el tratamiento ARTc-S, mientras que, para el E4, los valores no presentan diferencias significativas, por lo que no puede atribuirse una conexión evidenciable de este comportamiento.

No obstante, los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo reportado previamente por Rojas-Velázquez (2010) quien evaluó la influencia de presión osmótica en el suministro de nutrimentos, la distribución de biomasa y la calidad comercial de snapdragon cultivados en sistemas hidropónicos, obteniendo que la TRC a los 50 días después de la siembra, durante el verano, en el tratamiento -0.072 MPa (que fue el que obtuvo mejores resultados), fue de 0.0617 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, disminuyendo a los 80 días hasta alcanzar un valor de 0.0138 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Por otro parte, durante el invierno, la TRC en el tratamiento -0.034 MPa (que fue el que obtuvo mejores resultados) a los 50 días después de la siembra fue de 0.014 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ y de 0.00026 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ al final del cultivo. Estos resultados muestran un efecto de la temperatura sobre la TRC, al igual que podría reflejar el umbral bajo el cual snapdragon muestra adaptación a las condiciones de alta salinidad, puesto que los mejores resultados fueron obtenidos por debajo de la presión osmótica de 0.090 MPa. Esta adaptación puede estar relacionada con la cantidad de sales que pueden ser acumuladas en el apoplasto de los tejidos, las cuales pueden llevar a deshidratación y están relacionadas con

la cantidad de iones que pueden ser almacenados, sin causar un daño en las células y afectar de esta manera el crecimiento.

La influencia del tipo de agua y sustrato en los valores obtenidos en el presente estudio pueden estar relacionados con las concentraciones de iones en las soluciones nutritivas empleadas, en las cuales, la concentración de nutrientes fue mayor en los tratamientos en los que se empleó fertilizantes. Cabe resaltar que el ART cruda puede presentar iones en concentraciones altas que generen un desbalance en la dinámica química de la absorción y traslocación de estos en las células de las plantas. En el caso específico del Cl, a pesar de que puede considerarse un micronutriente, en concentraciones altas puede generar toxicidad en las plantas, afectando la actividad fotosintética al generar amarillamiento y necrosis de las hojas. No obstante, estudios preliminares han encontrado que dosis altas de N pueden reducir las tasas de absorción de cloruros hasta en 40%, durante la floración, ocasionando un antagonismo bidireccional entre los dos iones, evitando los efectos nocivos del Cl por efecto del NO_3 (Villa-Castorena *et al.*, 2006). Adicionalmente, el efecto del sustrato puede atribuirse a las características del Hydroton®, ya que se ha evidenciado que en sus poros puede adsorber iones como los fluoruros (Sepehr *et al.*, 2014) y en el caso del Cl, pudo limitar su disponibilidad en el agua, caso contrario al suelo, en donde pudo estar más disponible para las plantas, ocasionando TRC más bajas, lo que implica una capacidad fotosintética menor y a su vez un menor incremento en biomasa seca o en carbono.

La concentración de sodio también pudo ser una limitante en el crecimiento de las plantas cultivadas en ART, especialmente por la disminución en la concentración de K^+ : que pueden tener este tipo de aguas, haciendo que la relación $\text{Na}^+:\text{K}^+$ disminuya y que el Na^+ : remplace al K^+ : como principal catión monovalente osmorregulador, sustituyéndolo en los sitios de enlace, y modificando de esta manera las funciones fisiológicas de las plantas (Zhu, 2001; Rodríguez-Pérez, 2006). De igual manera, la presencia de Na pudo causar restricciones en la disponibilidad y absorción de otros micronutrientes (Casierra-Posada *et al.*, 2000). Todo esto pudo influir en las bajas TRC obtenidas por ART.

Respecto al índice de calidad obtenido en el presente estudio, solo hubo diferencias significativas para el girasol, entre los tipos de agua, siendo el tratamiento ART el que alcanzó valores significativamente más altos, comparativamente con ARTc y SN. Pese a esto, de acuerdo con lo expuesto por Reyes-Montero *et al.* (2009) para snapdragon, valores de entre $0.8 - 1.6 \text{ g cm}^{-1}$ corresponden a flores calidad “especial”, por lo que, sin importar el tipo de agua empleada, se obtuvo flores que pueden ser comercializadas. Respecto a snapdragon, no se evidencio diferencias significativas entre los tratamientos, reportándose valores de IC que oscilaban entre $2.6 - 4.4 \text{ g cm}^{-1}$

¹. Estos valores de IC están muy por arriba de lo reportado por Reyes-Montero *et al.* (2009), por lo que las flores obtenidas en el presente experimento se consideran “premium”, de acuerdo con la sociedad americana de floristas (Dole y Wilkins, 1999).

5.4. Calidad de agua

El pH de los sistemas de cultivo se mantuvo en promedio entre 6.8 y 7.5, siendo la ARTc y SN significativamente más ácidos, comparativamente con ART ($P = 0.020$) (Figura 49). Esto se debió a la adición de ácido nítrico, en estos sistemas. Por su parte, en ART el pH tendió a ser más básico (pH superior a 7.0), probablemente por la falta de manejo de este parámetro. No obstante, el pH se mantuvo estable para todos los tratamientos y, de acuerdo, con la literatura se mantuvo dentro del intervalo adecuado para la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes, exceptuando fósforo, manganeso y boro. Este valor de pH, adicionalmente, permitió que tuvieran lugar el proceso de nitrificación, el cual se ha reportado que ocurre en pH que oscilan entre 5.8 – 8.5.

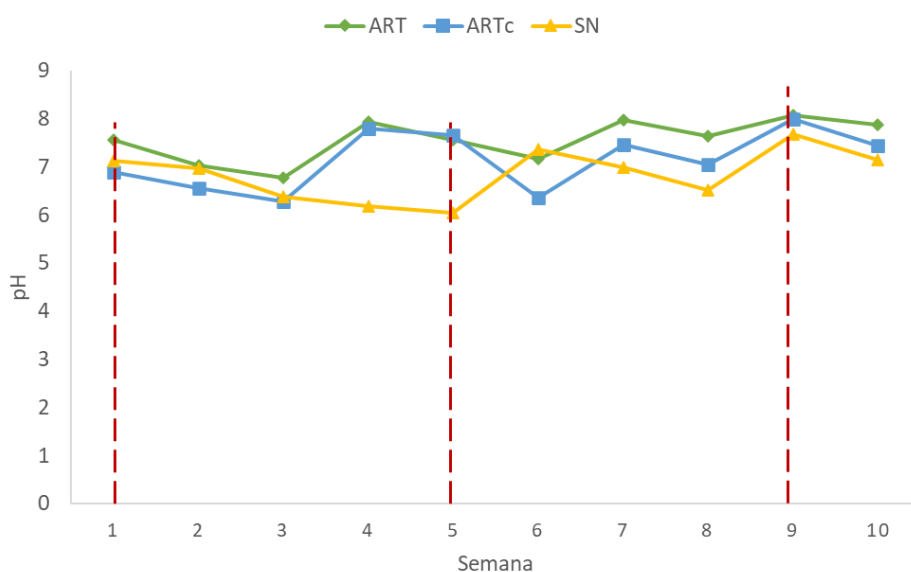


Figura 49. Valores semanales del pH medido en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.

Respecto a la CE, los valores obtenidos en los sistemas de cultivo estuvieron ligeramente por encima de lo recomendado en la literatura (2.1 a $2.3 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), registrándose valores promedio de 2.5 a $3.0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. En cuanto a los tratamientos de ART y SN, se obtuvieron valores similares (2.529 ± 0.296 y $2.586 \pm 0.895 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente), mientras que en el tratamiento de ARTc, el valor promedio fue de $3.009 \pm 0.424 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$; este valor se puede deber a la adición de sales que el ART, ya que esta se caracteriza por ser salobre (Mendoza-Espinosa et al., 2019) (Figura 50). Adicionalmente, se ha mencionado en literatura que el uso de sulfato de amonio (la cual conduce dos veces más electricidad que el nitrato de calcio y tres veces más que el sulfato de magnesio) y sales de potasio, incrementan la conductividad en el agua, siendo estas sales las que se utilizaron para la SN y el enriquecimiento del ARTc.

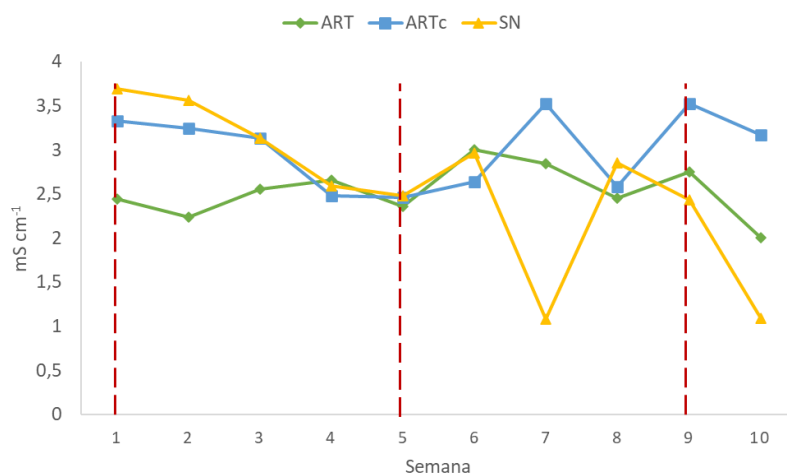


Figura 50. Valores semanales de la conductividad eléctrica (CE) medida en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes

La CE no tuvo efecto en el crecimiento de las plantas, puesto que se ha reportado que las especies seleccionadas son moderadamente tolerantes a la salinidad (Carter y Grieve, 2008; Santos-Junior et al., 2017). Esto fue evidenciado en la calidad de las plantas obtenidas, las cuales están dentro de los rangos estándar de comercialización. Sin embargo, el efecto del uso de arcilla expandida o Hydroton® como sustrato de cultivo pudo influir en la tolerancia evidenciada en las plantas cultivadas en el presente experimento. Hird y Bolton (2016) y Nachshon et al. (2011) observaron que este tipo de sustrato puede almacenar sales dentro de su matriz estructural

disminuyendo su disponibilidad, lo que implica que el impacto de las altas concentraciones de sales puede disminuirse en sistemas que usan arcilla expandida como medio de cultivo.

De acuerdo con lo planteado por Adrover *et al.* (2013) y Vaillant *et al.* (2003) las plantas tienen un importante papel en el tratamiento de las aguas residuales, ya que por medio de mecanismos como la fito-extracción, fito-transformación, fito-filtración y fito-degradación eliminan del agua elementos como el nitrógeno y el fósforo. Por medio de estos procesos, las plantas liberan exudados a través de las raíces (Moreno *et al.*, 2008), las cuales adicionalmente están provistas de materia orgánica, que da una importante superficie de fijación a las bacterias. Esto lleva a la generación de un biofilm bacteriano.

De esta manera, los compuestos nitrogenados mostraron un consumo continuo a lo largo del periodo de experimentación, observándose picos generalmente en las semanas de adición de solución nutritiva o de agua residual. La concentración de amonio para ART fue de $17.8 \pm 13.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, siendo significativamente menor comparativamente con ARTc ($42.76 \pm 33.45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y SN ($53.95 \pm 34.49 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) ($P = 0.373$) (Figura 51). Para el caso de nitritos los valores obtenidos no mostraron diferencias significativas. Los promedios registrados fueron de $1.424 \pm 0.60 \text{ mg l}^{-1}$, $1.297 \pm 0.35 \text{ mg l}^{-1}$ y $0.798 \pm 0.315 \text{ mg l}^{-1}$ para ART, ARTc y SN, respectivamente, (Figura 52). Finalmente, los nitratos mostraron concentraciones en proporción, similares a las registradas para amonio y nitrito, siendo significativamente menores para ART ($5.742 \pm 5.961 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), respecto a la concentración de ARTc y SN ($23.98 \pm 13.434 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y $21.71 \pm 15.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente) ($P < 0.05$) (Figura 53). Un comportamiento fuera de la tendencia fue observado en la semana 4, para este parámetro, en donde se evidenció un aumento de este parámetro previo a la adición de ART. La concentración de nitrógeno final promedio para ART, ARTc y SN, fue de $15.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $38.71 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y $46.64 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente.

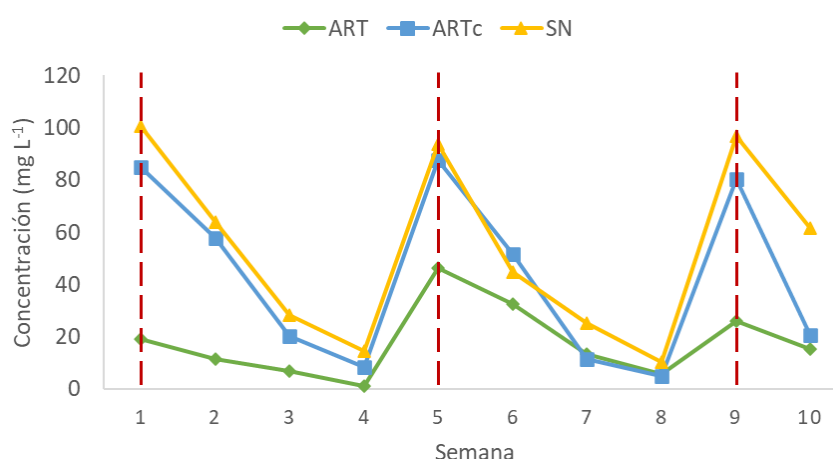


Figura 51. Valores semanales del amonio (N-NH_4^+) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.

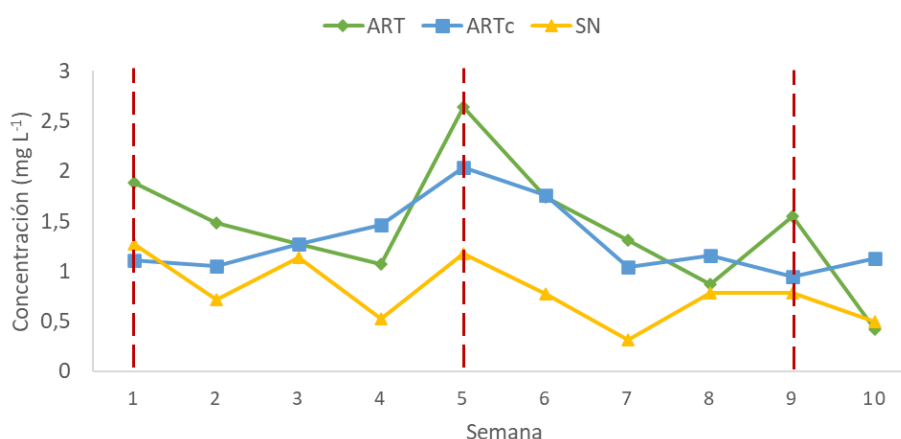


Figura 52. Valores semanales de nitrito (N-NO_2^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.

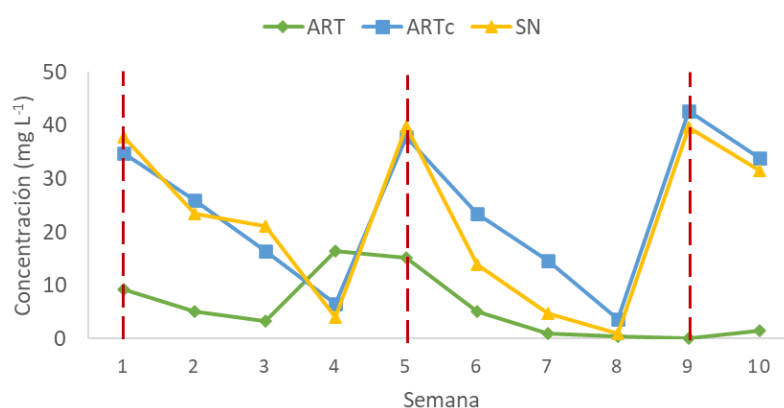


Figura 53. Valores semanales de nitrato (N-NO_3^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.

El nitrógeno en los sistemas ingresó en forma de amonio y nitrato, en diferentes proporciones dependiendo del tratamiento. Su remoción, en todos los casos permaneció constante, disminuyendo cada semana (más del 80% de remoción en todos los tratamientos). La remoción de estos iones pudo ocurrir por nitrificación microbiana y por absorción por parte de las plantas. La disminución en la concentración de amonio se puede atribuir a la actividad bacteriana, la cual probablemente facilitó la disponibilidad del N en forma de N-NO_3^- , que es la forma de N preferida por las plantas. Esto implica que una significativa porción del amonio removido del agua residual y de los demás tratamientos fue convertida por medio de la nitrificación en nitrito y nitrato. Además, la fijación de N en las plantas depende de la actividad de las bacterias heterótrofas de la rizosfera, las cuales emplean compuestos orgánicos como fuente de electrones para la reducción de N (Osorio-Vega, 2007). Adicionalmente, la materia orgánica contenida en el medio de cultivo proporciona un área para la adhesión y formación de biofilm (Farahbakshazad y Morrison, 2010; Gopal, 1999). Bajo condiciones idóneas se ha estimado que en promedio la fijación de bacterias heterótrofas alcanza hasta $25 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ en promedio (Osorio-Vega, 2007).

En el caso del ART y del ARTc, a pesar de que no se cuenta con datos microbiológicos, se puede asumir que hay una gran diversidad de microorganismos involucrados en los procesos mencionados anteriormente. Becerra-Castro *et al.* (2015) identificaron que en las AR se pueden encontrar bacterias nitrificantes de los phyla *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Acidobacteria*, *Verrucomicrobia*, *Deinococcus-Thermus*, *Thermotogae*, *Synergistetes*, entre otros. De igual manera, en estudios previos se ha demostrado que el riego

con AR en suelos agrícolas llevó a un aumento en la concentración de N-NO_3 y N-NH_4 y de bacterias oxidantes de amoníaco y nitrito (Tam, 1998). Y, adicionalmente se encontró que la adición de nitrato de amonio a los suelos aumenta la riqueza bacteriana (Turlapati et al., 2013).

En estudios previos, la remoción de compuestos nitrogenados varía de 47% (Gottschall et al., 2007) a 93% (Vaillant et al., 2003). En el presente estudio la remoción de nitrógeno fue mayor al 85% para todos los tratamientos. Por ejemplo, el uso de sustrato tipo turba, según lo descrito por Elrashidi et al. (2010), favorece la actividad biológica del suelo, debido a su alto contenido de materia orgánica, permitiendo que tengan lugar procesos de nitrificación y transformación de nitrógeno orgánico a inorgánico. Esto pudo deberse a varios factores, entre ellos el pH del agua (óptimo entre 5.8 – 8.5), la actividad microbiana (como ya se mencionó), el sustrato de cultivo, las especies vegetales y la temperatura ambiental.

Respecto a la temperatura, estaciones cálidas han demostrado un aumento en la eficiencia de eliminación de nitrógeno, relacionando la temperatura y el fotoperíodo largo con la intensificación de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en las plantas durante el período vegetativo, lo cual influye directamente en la fotosíntesis.

La concentración de sulfatos no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. En ART hubo valores promedio de $345 \pm 186.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, mientras que en el ARTc fueron de $3,018 \pm 3,515 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y en SN de $2,789.08 \pm 2,687 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. En todos los tratamientos se observó picos en la concentración de este nutriente en las semanas de adición de agua residual o de solución nutritiva. El consumo fue progresivo a lo largo del experimento, siendo constante a excepción de la semana 7, para ARTc, en donde se observa un pequeño pico no correspondiente con la adición del compuesto de manera externa (figura 54 **Error! Reference source not found.**). La concentración de sulfato registrada para ART ($345 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). concuerda con la concentración teórica establecida por Steiner ($336 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Respecto a los tratamientos de ARTc y SN, las concentraciones fueron superiores a las estipuladas por Steiner ($3,020 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y $2,800 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, en ARTc y SN, respectivamente).

Sin embargo, es probable que las altas concentraciones de SO_4^{2-} disminuyeran la disponibilidad de Na^+ , por la formación de NaSO_4 soluble, el cual pudo ser retenido en los sitios de sorción de la superficie del Hydroton, de acuerdo con lo descrito por Elrashidi et al. (2010).

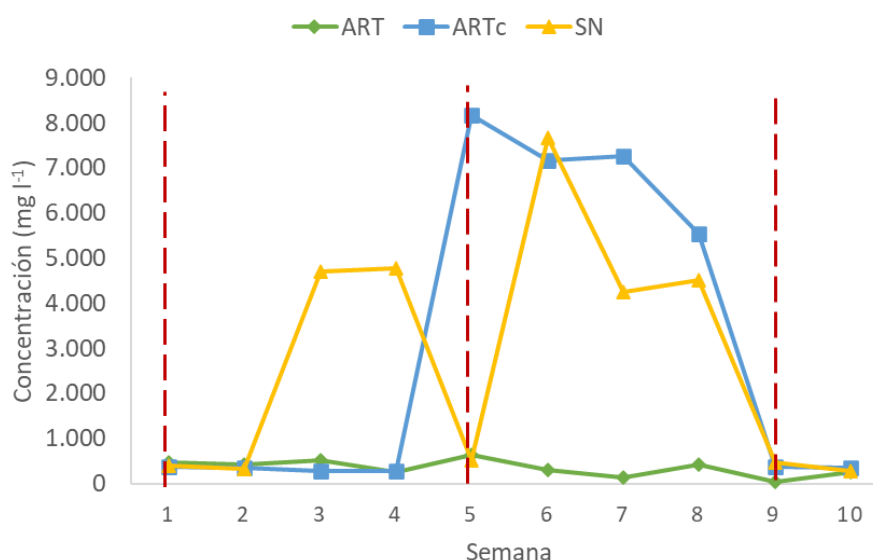


Figura 54. Valores semanales de Sulfato (SO_4^{2-}) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.

Al igual que otros compuestos, los fosfatos fueron consumidos por las plantas de manera constante, registrándose una concentración significativamente mayor en SN y ARTc, que en ART, obteniéndose valores promedios de $71 \pm 56 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $65 \pm 4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $16 \pm 22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente. Los mayores picos de concentración fueron registrados en las semanas de adición de agua residual o de solución nutritiva. En la semana 5, se obtuvo la mayor concentración de fosfato, comparativamente con el resto del experimento. No obstante, la dinámica tendió a ser la misma. La concentración total promedio medida de fósforo fue de $44.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y $40.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, para SN y ARTc (respectivamente), valores que están por encima de la teórica establecida por Steiner de $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, lo que este nutriente no estuvo en concentración limitante (figura 55).

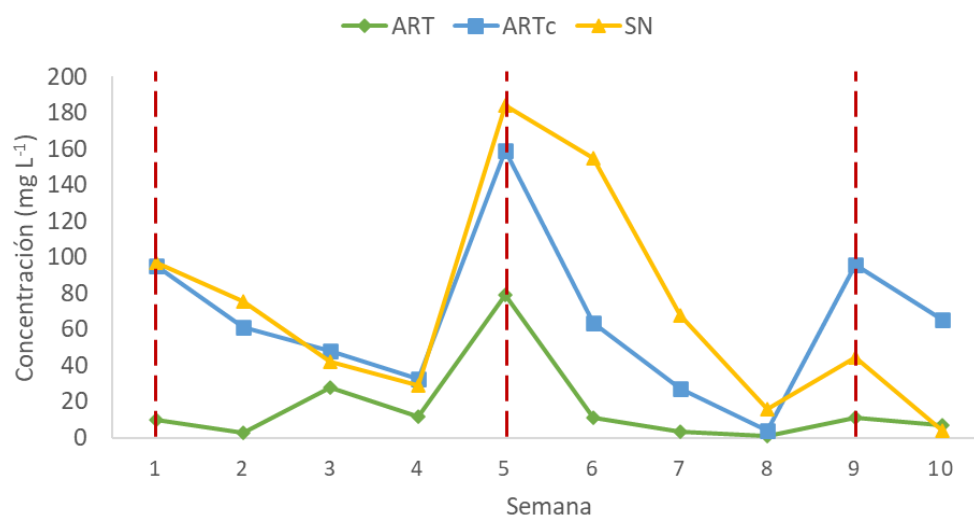


Figura 55. Valores semanales de fosfato ($P-PO_4$) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.

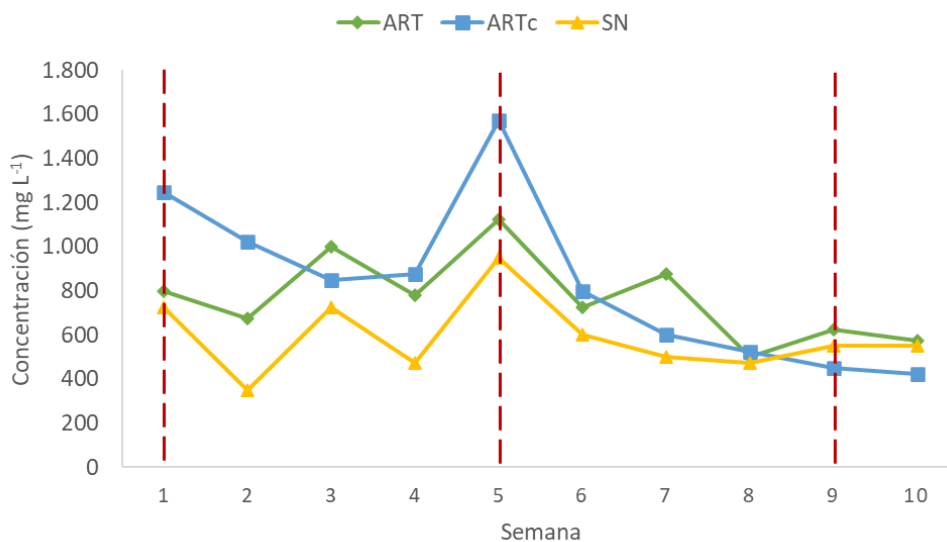


Figura 56. Valores semanales de cloruro (Cl^-) medido en los sistemas hidropónicos de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*), cultivados en tres tipos de agua: ART, ARTc y SN, y dos sustratos: ProMix® e Hydroton®. Las líneas punteadas indican las semanas en las que hubo adición de nutrientes.

Aunque se evidencia reducción en la concentración de fósforo semana a semana, hasta la renovación, los valores registrados nunca llegaron a cero. Esto puede deberse a que según lo descrito por Vaillant *et al.* (2003) el fósforo está presente en las aguas residuales en varias formas, las cuales no son removidas o asimiladas de la misma manera por las plantas y las bacterias. En el caso del fósforo particulado, este es asimilado o fijado por las raíces de las plantas, mientras que el fósforo orgánico debe ser convertido por acción bacteriana a fósforo mineral para su aprovechamiento. Esto implica que algo del fósforo total no asimilado se encontraba en forma de fósforo orgánico o en otras formas poco asimilables por las plantas, lo que generaba un excedente de este nutriente en los sistemas.

De esta manera, la eliminación total de fósforo en el presente experimento alcanzó una eficiencia promedio del 84 a 85%. No obstante, en el estudio presentado por Olguín *et al.* (2017) se demuestra que el uso de *Pistia stratiotes* permite obtener reducciones hasta de 93%. Esto, al igual que para el nitrógeno, puede variar por diversos factores. Pese a esto, se considera que el porcentaje de remoción fue alto.

La concentración de cloruros obtenida en el experimento fue mayor para ARTc y ART, que para SN. Esto puede deberse al tipo de agua empleada para cada tratamiento. No obstante, la concentración en SN fue de $589.8 \pm 161.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, muy por encima de lo que se considera agua dulce (250 mg l^{-1}) (Valles-Aragon *et al.*, 2017). Los picos en la concentración concuerdan con la adición de agua en cada uno de los tratamientos. El efecto del cloruro en las plantas, como ya fue mencionado anteriormente, puede generar toxicidad, evidenciándose síntomas como amarillamiento y necrosis. Sin embargo, en el presente experimento se observó que las concentraciones de N redujeron los efectos nocivos del cloruro y, adicionalmente el Hydroton® limitó la disponibilidad de este.

Es así como, aunque no hubo medición de otros micronutrientes, por evidencias previas se puede mencionar que la turba tiene un incremento la disponibilidad del Mn y del Fe, ya que, debido, a que genera condiciones redox, se podrían reducir estos iones a formas más solubles que sean tomados por las plantas de manera más eficiente (Elrashidi *et al.*, 2010). Cabe resaltar que la turba no es un medio inerte ya que, debido a su origen, cuenta con actividad biológica y características químicas que favorece la mineralización, reducción y disponibilidad de iones, por lo que no es probable que haya un aporte intrínseco de este medio a las soluciones nutritivas ensayadas.

En cuanto a la influencia de los microorganismos asociados a la rizosfera también puede evidenciarse en la disponibilidad del Mn y del Fe, ya que se ha reportado que bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Geobacter* pueden reducir el Mn^{4+} a Mn^{2+} , la cual es la forma química

que metabólicamente usan las plantas (Osorio – Vega, 2007). En esta reacción los electrones son suministrados por la descomposición de compuestos de carbono, mientras que los protones provienen del exudado de las células de la raíz. De igual manera, algunos estudios aseveran que la rizosfera y la comunidad asociada producen agentes quelantes como compuestos fenólicos y ácidos orgánicos, que forman complejos solubles con Mn y otros elementos evitando su precipitación (Marschner, 1997). Para el caso del Fe, las bacterias ya mencionadas también se encuentran relacionadas con la oxidación de ese elemento, pasando de Fe^{3+} a Fe^{2+} , la forma requerida por las plantas (Marschner, 1997).

Micronutrientes como el B, el Cu, el Mo, el Ni y el Zn también son elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a que son precursores de coenzimas, componentes de proteínas de la membrana plasmática y de otros organelos celulares, y adicionalmente, juega un papel importante en la formación de proteínas de los fotosistemas (Welch y Shuman, 1995). Pese a las funciones en las que están involucrados estos elementos, se ha registrado que en los tejidos vegetales su concentración es menor a $0.01 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco. En las aguas de riego, se ha mencionado que, para el caso del Cu, Ni y Zn la concentración debe ser menor a $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, mientras que para Mo debe ser menor a $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Grusak, 2001). En las aguas residuales domésticas en promedio concentraciones de entre $0.01 - 0.08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ han sido reportadas, por lo que, teóricamente, estos elementos no constituirían una problemática para los cultivos regados con este tipo de agua. Esto concuerda con los resultados evidenciados en el presente estudio, en el que, a pesar de que no se hizo un seguimiento riguroso de los microelementos, no hubo evidencia de toxicidad en los mismos.

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA

6.1. METODOLOGÍA

6.1.1. Análisis de la factibilidad económica del sistema hidropónico

Para evaluar la factibilidad económica de los sistemas de cultivo empleados se realizó una evaluación financiera, en la que se incluyeron los costos de inversión y de operación. De igual forma, se evaluó un sistema tradicional, cuyos fueron suministrados por el Centro Floricultor de Baja California SA de CV, específicamente para el cultivo de girasol y snapdragon. En cuanto a los datos requeridos para el análisis financiero de los sistemas hidropónicos, estos se obtuvieron a partir de la inversión para el montaje de los sistemas.

Los flujos de capital calculados, permitieron determinar el valor presente neto (VPN) (Ecuación 5), la tasa interna de retorno (TIR) (Ecuación 6), la rentabilidad del proyecto (RP) (Ecuación 7) y la relación beneficio/costo (B/C) (Ecuación 8).

Las ecuaciones empleadas fueron planteadas a partir de Monsalve *et al.* (2011):

$$VPN = \frac{Q^1}{(1+i)^1} + \frac{Q^2}{(1+i)^2} + \frac{Q^n}{(1+i)^n} - VP$$

Ecuación 5

En donde, en la Ecuación 5:

Q = flujos de caja en los momentos indicados.

VP = valor de la inversión inicial.

i = Tasa de descuento de los Q equivalente a la tasa de retorno requerida por el proyecto.

n = periodos de proyección del proyecto.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Q_n}{(1+i)^n} = 0$$

Ecuación 6

En donde, en la Ecuación 7:

TIR = Tasa Interna de Retorno

Q_n = Flujos de caja en el período n.

i = Valor inversión inicial.

$$RP = \frac{Q_T}{VP}$$

Ecuación 7

En donde, en la Ecuación 7:

RP = rentabilidad del proyecto

Q_n =Flujos de caja del proyecto en su vida útil.

VP = valor de la inversión inicial.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor presente de los ingresos}}{\text{Valor presente de los costos}}$$

Ecuación 8

En la tabla VIII se encuentran descritos los elementos que fueron relacionados en el presente estudio, para llevar a cabo la evaluación financiera, que permitiera determinar la rentabilidad económica de cada uno de los sistemas de producción evaluados: tradicional con ART y sistemas hidropónicos con diferente suministro de agua (ART, ARTc y SN). Para el caso de la producción tradicional se tuvo en cuenta todo lo que implica el proceso de preparación y renta de la tierra, el sistema de riego, el costo de semillas y de agroquímicos, el valor de la electricidad empleada para el bombeo y mantenimiento de las instalaciones, así como también el tratamiento del ART para su uso en girasol y snapdragon (por medio de Ozono), al igual que el personal humano requerido. Adicionalmente, para el caso de snapdragon en sistema tradicional se consideró la adquisición de un invernadero tipo “Caterpillar”, como los empleados en el Centro Florícola de Baja California. Este tipo de invernaderos son usados por la facilidad de montaje y porque proporcionan protección contra el viento, la lluvia y el sol directo.

Respecto a los sistemas hidropónicos, se tuvo en cuenta la compra de invernaderos tipo “Caterpillar”, tanto para girasol como para snapdragon, al igual que los costos del montaje de los sistemas y del sustrato hidropónico, el valor de semillas, los fertilizantes y los químicos orgánicos

para el control de plagas, el sistema de bombeo, el tratamiento de agua (por medio de filtración UV), la electricidad empleada y el personal humano requerido. Para cada uno de los casos se especifica en la tabla VIII los apartados que corresponden, puesto que, por ejemplo, para el caso de ART y ARTc se necesita el tratamiento del agua con filtración UV, mientras que para SN esto no es requerido.

La evaluación financiera se proyectó a ocho años, debido a que la mayoría de los sistemas de producción no alcanzaban el balance económico en el tiempo recomendado en literatura (cuatro años), por lo cual no era posible llevar a cabo comparaciones entre los datos obtenidos. Es importante resaltar que este es un ejercicio financiero para tener un acercamiento a la rentabilidad de los sistemas hidropónicos con ART, pero, hubo algunos datos que no fueron considerados por la escasez de literatura y por la imposibilidad de cuantificarlos con los datos obtenidos con el presente estudio.

Tabla VIII. Descripción de los costos de operación e inversiones fijas calculados para el montaje del sistema hidropónico empleado y para cultivos en sistemas de producción tradicionales empleados para el cultivo de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*)

	TRADICIONAL		HIDROPÓNICO-ART		HIDROPÓNICO – ARTc		HIDROPÓNICO – SN	
	GIRASOL	SNAPDRAGON	GIRASOL	SNAPDRAGON	GIRASOL	SNAPDRAGON	GIRASOL	SNAPDRAGON
Inversión fija								
Renta del terreno	X	X	X	X	X	X	X	X
Preparación del terreno	X	X	N.A.	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Invernadero	N.A.	X	X	X	X	X	X	X
Sistema de riego	X	X	X	X	X	X	X	X
Sistema de bombeo	X	X	X	X	X	X	X	X
Tratamiento del agua (lámparas uv)	N.A.	N.A	X	X	X	X	X	X
Sustrato Hidropónico	N.A.	N.A	X	X	X	X	X	X
Sistema Hidropónico	N.A.	N.A	X	X	X	X	X	X
Costos de operación								
Análisis suelo	X	X						
Análisis agua	X	X	X	X	X	X	X	X
Fertilización	X	X	N.A.	N.A	X	X	X	X
Agua potable	N.A.	N.A	N.A.	N.A	N.A.	N.A	X	X
Semillas	X	X	X	X	X	X	X	X
Control plagas	X	X	X	X	X	X	X	X
Mano de obra	X	X	X	X	X	X	X	X
Tratamiento agua residual - Ozono	X	X	N.A.	N.A	N.A.	N.A	N.A.	N.A
Electricidad	X	X	X	X	X	X	X	X

6.1.2. Estimación de la huella hídrica

La cuantificación de la Huella Hídrica (HH) como indicador del uso de agua se realizó siguiendo el concepto de (Hoekstra *et al.*, 2011) cual establece que la HH de cualquier bien o servicio es el volumen de agua empleado, de manera directa e indirecta en su producción. Para su cuantificación debe realizarse la sumatoria de las huellas hídricas que la integran: la huella hídrica azul (HHA), la huella hídrica verde (HHV) y la huella hídrica gris (HHG):

$$HH_{Total} = HH_{Azul} + HH_{Verde} + HH_{gris}$$

Ecuación 9

En Donde, en la Ecuación 9:

HH_{Total} = Huella hídrica total.

HH_{Azul} = Componente azul de la huella hídrica.

HH_{Verde} = Componente verde de la huella hídrica.

HH_{Gris} = Componente gris de la huella hídrica.

La HHA es el volumen de agua suministrado que es consumido e incorporado a los tejidos vegetales, y luego es transpirado. La HHV corresponde al volumen de agua utilizado durante el proceso de crecimiento de las plantas, que proviene de la precipitación y es almacenada en el suelo. Y, la HHG corresponde a la lixiviación y escorrentía de los agroquímicos incorporados a los sistemas de cultivo, definiéndose de esta manera el volumen de agua necesario para diluirlos en el ambiente.

Debido a que los sistemas de cultivo fueron implementados bajo cubierta, la HHV no fue tomada en cuenta, puesto que no hay entrada de agua proveniente de la precipitación. De igual manera, debido a que el agua de cultivo no fue desechada, no se llevó a cabo la estimación de la HHG.

Para el caso de la producción de plantas en sistemas hidropónicos y bajo invernadero, el uso consuntivo del agua es atribuido a la evapotranspiración de la planta y a su integración en los tejidos, por lo que los componentes de la HHA de este tipo de producción son:

$$HH_{Azul} = \text{Evaporación Agua Azul} + \text{Incorporación Agua Azul}$$

Ecuación 10

Obteniéndose como resultado un valor cuyas unidades son volumen por unidad de tiempo o por unidad de producto (masa del producto en toneladas). La ecuación planteada por Hoekstra et al. (2011) para calcular la HHA es:

$$HH_{Azul} = \frac{UAC_{Azul}}{Y}$$

Ecuación 11

En donde, en la Ecuación 11:

HH_{Azul} = componente azul de la HH.

UAC_{Azul} = uso de agua azul. Expresado en $m^3 \cdot ha^{-1}$.

Y = rendimiento del cultivo, expresado en tallos $\cdot ha^{-1}$.

El uso del agua del cultivo (UAC) es el volumen de agua requerido para que ocurra el proceso de evapotranspiración bajo condiciones de crecimiento óptimas (Caro-Romero, 2014; Villalobos y Villalobos, 2018):

$$UAC_{Azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{Azul}$$

Ecuación 12

En donde, en la Ecuación 12:

UAC_{Azul} = uso de agua azul. Expresado en $m^3 \cdot ha^{-1}$.

ET_{Azul} = Evapotranspiración del agua azul.

Lgp = Largo del período productivo, desde la siembra hasta la cosecha.

La evapotranspiración del cultivo fue calculada como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET_r) y el coeficiente de cultivo (K_c):

$$E_{tc} = K_c \times E_{Tr}$$

Ecuación 13

En donde, en la Ecuación 13:

E_{Tc} = Evapotranspiración del cultivo ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)

K_c = Coeficiente de cultivo

E_{Tr} = Evapotranspiración de referencia ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$).

La evapotranspiración de referencia es un valor teórico relacionado directamente con las condiciones climáticas, que indica el poder evaporante de la atmósfera (<https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>). Este valor se cuantifico empleando la ecuación planteada por Blaney – Criddle:

$$F = p(0.46t - 8.13)$$

Ecuación 14

En donde, en la Ecuación 14:

F = factor de uso constitutivo en $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$

p = porcentaje diario medio de horas diurnas anuales según latitud.

t = temperatura media.

El coeficiente de cultivo (K_c) es un valor teórico que incorpora el desarrollo del cultivo y la evaporación del sustrato. Este se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{ETm}{ETr}$$

Ecuación 15

En donde, en la Ecuación 15:

Kc = coeficiente del cultivo

ETm = Evapotranspiración medida ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)

ETr = Evapotranspiración de referencia ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$).

La evapotranspiración medida se registró diariamente de acuerdo con el consumo de solución nutritiva del contenedor.

Las HH del sistema de producción tradicional y del sistema hidropónico propuesto en el presente trabajo fueron comparadas. Para ello, se realizó una revisión de la literatura especializada y experimentos previos, a fin de obtener datos precisos que permitieran los cálculos requeridos para el ejercicio comparativo.

6.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.2.1. Análisis de Factibilidad económica

La evaluación financiera se resume en la tabla IX, en donde se plasman los resultados más importantes de la misma, permitiendo determinar que el sistema con mayor rentabilidad es el hidropónico con ART para cultivo de snapdragon, el cual obtuvo 60% de TIR y \$4,737,000 dólares de VPN, con una densidad de siembra menor a la empleada en sistemas tradicionales y un menor tiempo entre ciclos. Seguido a este se encuentra el sistema de producción tradicional con ART para el cultivo de snapdragon, el que alcanza un 50% de TIR y \$1,961,300 dólares de VPN, con una densidad de siembra de 58 plantas m^{-2} y 4 ciclos de siembra en el año. El tipo de producción que resultó como el menos rentable fue el tradicional con ART para el cultivo de girasol, debido a que sólo se obtiene un 0.7% de TIR y un VPN de \$146,900 dólares. Todos los análisis financieros fueron llevados a 8 años, para poder comparar los resultados; no obstante, cabe recalcar que el tipo de producción que resultó más rentable (sistema hidropónico con ART para cultivo de snapdragon) alcanzó la estabilidad del negocio a los 4 años (ver anexo 2).

Tabla VI. Evaluación financiera a lo largo de 8 años, para producción en sistemas tradicionales con ART y en sistemas hidropónicos con diferente suministro de agua y nutrientes (ART, ARTc y SN) para la producción de girasol (*H. annuus*) y snapdragon (*A. majus*).

	TRADICIONAL		HIDROPÓNICO- ART		HIDROPÓNICO- ARTc		HIDROPÓNICO- SN	
	Girasol	Snapdragon	Girasol	Snapdragon	Girasol	Snapdragon	Girasol	Snapdragon
Inversión inicial	US\$ 197,549.00	US\$ 367,549.00	US\$ 1,314,061.79	US\$ 1,125,727.79	US\$ 1,371,298.59	US\$ 1,182,964.59	US\$ 1,335,422.86	US\$ 1,176,230.86
Costos operación	US\$ 1,902,806.48	US\$ 1,278,009.03	US\$ 3,111,997.36	US\$ 1,144,590.53	US\$ 1,365,309.23	US\$ 1,748,524.44	US\$ 3,714,989.85	US\$ 1,413,994.18
Densidad siembra	24 plantas m ⁻²	58 plantas m ⁻²	30 plantas m ⁻²	30 plantas m ⁻²	30 plantas m ⁻²	30 plantas m ⁻²	30 plantas m ⁻²	30 plantas m ⁻²
Utilidades	US\$ 2,056,973.87	US\$ 4,513,169.74	US\$ 6,438,992.84	US\$ 8,213,439.68	US\$ 5,832,050.37	US\$ 4,618,802.36	US\$ 2,033,242.24	US\$ 4,332,294.57
Rentabilidad proyecto (utilidad/inv. Inicial)	1.03	12.28	4.90	3.27	1.15	1.48	0.43	1.42
Relación beneficios/ costos (utilidad/costos operación)	1.08	3.53	2.07	7.18	1.57	2.64	0.55	2.13
TIR	0.7%	50.6%	11.2%	60.0%	5.1%	12.5%	8.2%	12.3%
VPN	US\$ 146,991.49	US\$ 1,961,381.98	US\$ 1,827,657.66	US\$ 4,737,109.83	US\$ 1,074,322.37	US\$ 1,649,271.55	US\$ 1,483,318.84	US\$ 1,620,386.80

Dentro de los costos de operación, la categoría que representa un mayor valor porcentual, tanto para girasol como para snapdragon, y para los diferentes tipos de agua y sistemas de producción es el costo de las semillas. Para el caso de producción tradicional e hidropónicos con ART, el siguiente ítem es el referente a los recursos humanos (Figura 57. y 61). Esto difiere con lo cuantificado para hidropónicos con ARTc y SN, en donde como segundo valor porcentual se encuentra la inversión en fertilizantes, seguido por el costo de los recursos humanos y mano de obra. Las categorías restantes, corresponden al porcentaje de electricidad, control de plagas y análisis de suelo o agua, según corresponda con el sistema de producción (Figuras 60, 63 y 64). Finalmente, para los sistemas hidropónicos con SN, se adiciona el valor correspondiente al uso de agua potable, el cual no es contemplado para el resto de los sistemas, por usar ART (Figuras 60 y 64).

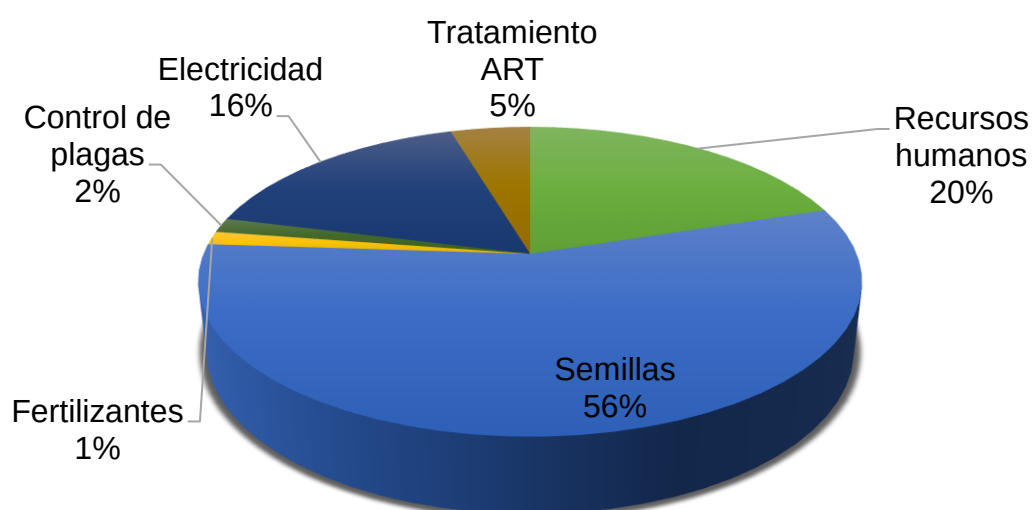


Figura 57. Costos de operación en valor porcentual desglosados para el girasol (*H. annuus*) en sistemas de producción tradicional.

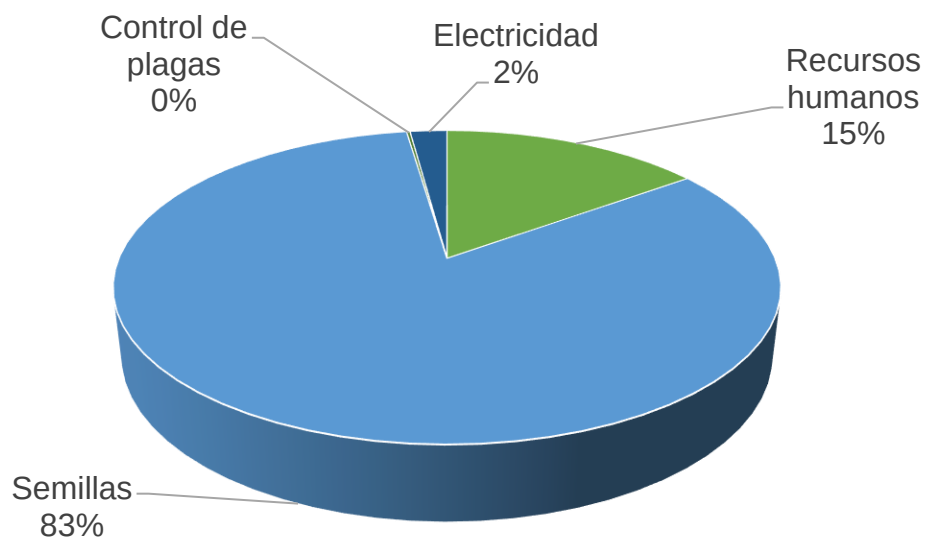


Figura 58. Costos de operación en valor porcentual desglosados para el girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos con ART y sustrato Hydroton®.

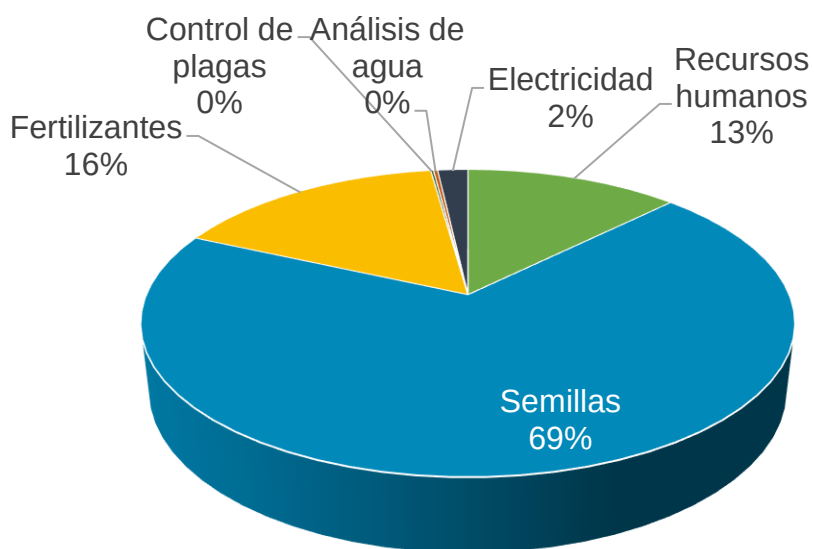


Figura 59. Costos de operación en valor porcentual desglosados para el girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos con ARTc y sustrato Hydroton®.

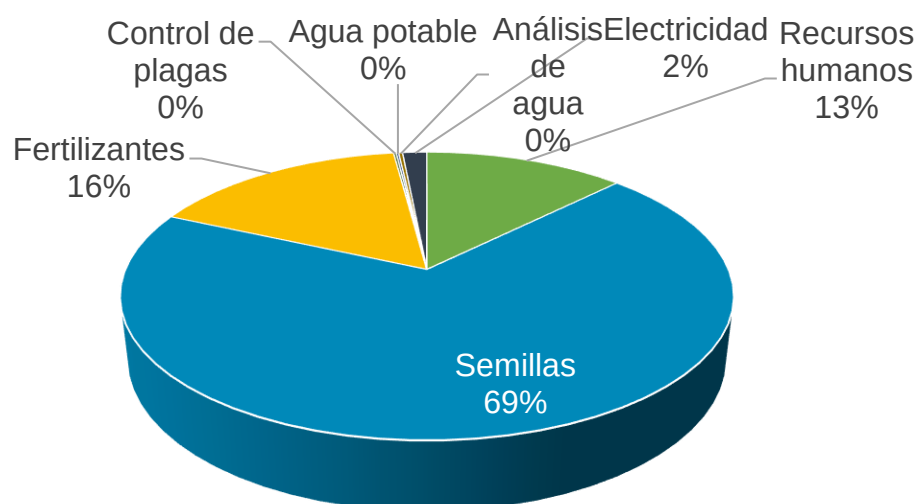


Figura 60. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos con SN y sustrato Hydroton®.

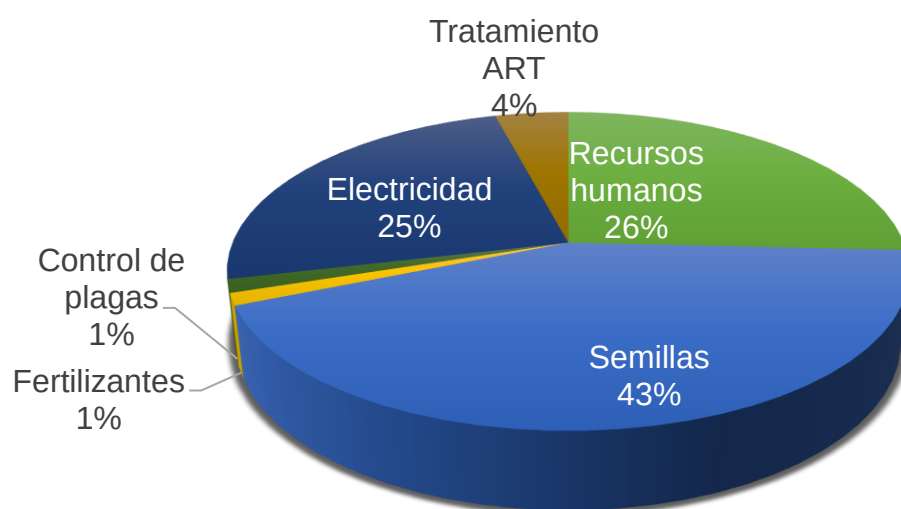


Figura 61. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (*A. majus*) en sistemas de producción tradicional.

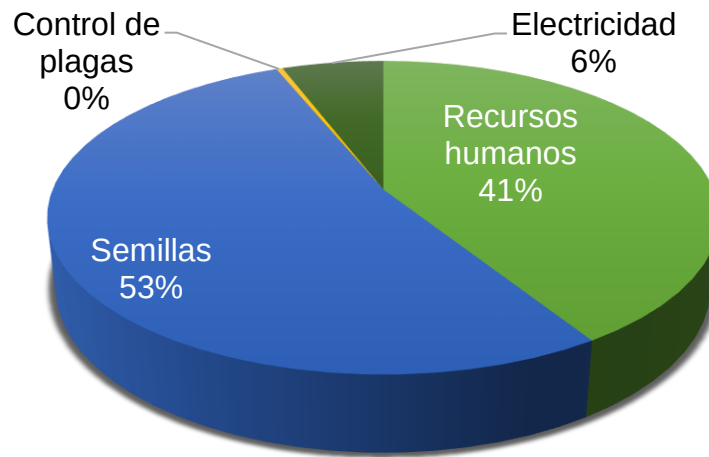


Figura 62. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos con ART y sustrato Hydroton®.

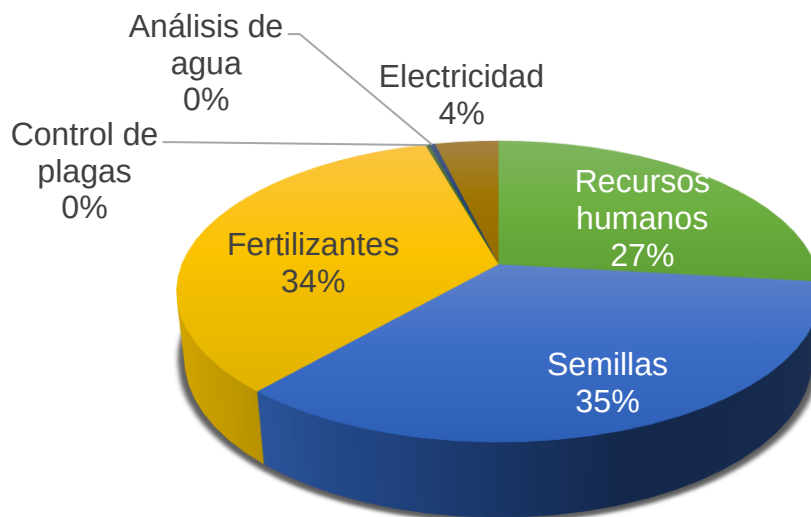


Figura 63. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos con ARTc y sustrato Hydroton®.

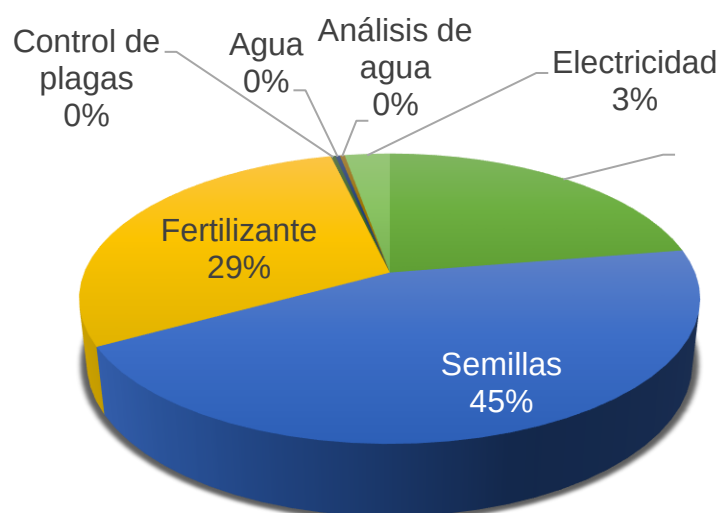


Figura 64. Costos de operación desglosados en valor porcentual para el snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos con SN y sustrato Hydroton®.

La determinación de la factibilidad económica de los sistemas hidropónicos con ART para el cultivo de girasol y snapdragon se llevó a cabo partiendo de algunos supuestos, siendo esta parte del estudio un ejercicio financiero, en el que se intentó englobar todos los costos e inversiones que se deben tener en cuenta para la implementación de este tipo de tecnología como una alternativa de negocio inicialmente local y nacional, para posteriormente con mayor grado de tecnificación alcanzar un mercado internacional (cabe mencionar que las tallas obtenidas en el presente experimento alcanzan la calidad para exportación, de acuerdo con la Sociedad Americana de Floristas). Para esto se obtuvo la TIR y el VPN, proyectándolo a ocho años, facilitando la comparación entre los índices obtenidos para los diferentes tipos de producción. Cabe resaltar, que debido a la falta de información disponible no se tuvo en cuenta las depreciaciones, por lo que solo los flujos de ingresos y egresos fueron contabilizados (Tabla VII y VIII).

La TIR es un valor relativo que compara una corriente de ingresos o flujos netos al momento de la inversión inicial con el valor actual de una corriente de egresos (inversión en el momento) a una tasa de K, o tasa de oportunidad, determinada por la dinámica económica global (Altuve *et al.*, 2004). En sistemas productivos agrícolas, se establece que la TIR debe alcanzar valores superiores a la tasa de oportunidad en aproximadamente cuatro años. Los sistemas de producción que lograron este cometido fueron el sistema hidropónico con ART para cultivo de snapdragon y sistema tradicional para el cultivo de esta especie. Debido a esto en los resultados, la proyección a ocho años le permite alcanzar valores de más del 50%

de TIR. Se cree que la mayor rentabilidad de estos sistemas de producción se debe a dos factores, independientes. Por un lado, en el sistema tradicional se contempló una mayor densidad de siembra ($58 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$) por ciclo (3 ciclos al año) para snapdragon y debido a que el costo de la semilla es menor, comparativamente con girasol, es más factible que el retorno de inversión se alcance antes. Por otro lado, el sistema hidropónico con ART, a pesar de que tiene menor densidad de siembra ($30 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$) por ciclo (8 ciclos al año) cuenta con menores costos de operación, ya que no se incluye la fertilización, ni el tratamiento de agua, y menor tiempo entre ciclos, por lo que es posible que estas reducciones conlleven a un retorno de la inversión más acelerado.

Sin embargo, resulta relevante recalcar que el girasol, a pesar de que en sistema tradicional no requiere del montaje de invernaderos para su crecimiento, cuenta con la menor TIR, incluso sin alcanzar la rentabilidad requerida en los ocho años proyectados; esto puede deberse al alto costo de las semillas y a la menor densidad de siembra, comparativamente con snapdragon, por lo que se considera que el girasol en cultivo de manera tradicional puede ser un producto estratégico, probablemente relacionado con su alta comercialización, que debe ser subsidiado con el cultivo de otro tipo de flores que resultan más rentables, pero que son menor demanda.

El VPN es la actualización de los flujos netos a una la tasa de descuento establecida, constituyendo el costo medio de capital. Este valor es un criterio de inversión que permite conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión en pesos actuales; es decir, aplicando la tasa de inflación que se tenga considerada en cada uno de los años de vida del proyecto (Altuve et al., 2004). Al igual que para la TIR, este valor fue mayor para la producción en sistema hidropónico con ART para el cultivo de snapdragon.

La relación de los costos de operación entre los sistemas de producción hace notar que, para los sistemas hidropónicos, como ha sido reportado previamente, los recursos humanos o mano de obra calificada son una de las desventajas de la implementación de este tipo de sistemas, por las implicaciones económicas que conlleva, comparativamente con un sistema agrícola tradicional (Winker et al., 2020). No obstante, se considera que, en la actualidad, debido al aumento en el uso de sistemas hidropónicos y al auge que tienen este tipo de sistemas, la mano de obra va a reducir su valor, por el incremento de las capacitaciones y de la oferta de personal calificado (E. Medina, comunicación personal, 31 de marzo 2022). En los sistemas hidropónicos complementados con fertilizantes, el costo de estos agroquímicos también constituye uno de los mayores porcentajes en la relación de costos. Esto puede deberse a que es un sector de la economía agrícola que fluctúa mucho y que depende de la

importación, consecuencia de la falta de integración de los procesos de producción del país (Ávila, 2001).

Comparar la presente evaluación financiera con otros estudios es complicado, debido a que la tecnología hidropónica empleada en este experimento no ha sido comprobada a escala productiva comercial. Adicionalmente, no hay estudios de factibilidad previos en las especies cultivadas (girasol y snapdragon). Sin embargo, pueden mencionarse algunos estudios financieros de flores ornamentales como la rosa (*Rosa* spp.), el clavel (*Dianthus caryophyllus*), la gerbera (*Gerbera jamesonii*) y el alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), en los que se estimaron los indicadores de rentabilidad anteriormente expuestos. Es importante resaltar que el desglose de los costos fijos y de operación varían para cada caso, puesto que son proyectos individuales, lo que influye en el valor obtenido para los indicadores. Teniendo esto en cuenta, en el estudio financiero para producción de rosa bajo invernadero en sistema tradicional, realizado por Ordoñez-Placencia (2012) se obtuvo una TIR de 34.63% y una relación beneficio-coste de 1.133, lo que indica que, por cada dólar de costo operativo, se obtienen US \$1.133 de ingreso neto. El retorno de la inversión para este estudio se obtuvo a los 5 años de producción. En gerbera cultivada en sistema tradicional, Martínez-Franco y Parra-Jiménez (2011) obtuvieron una TIR de 19.3% y una relación costo-beneficio de 1.320. En sistemas hidropónicos tipo NFT, el cultivo de rosa, clavel y alcatraz arrojó una TIR de 17%, con retorno de la inversión en 5 años (Choque-Mendoza y Condori-Copana, 2017). Como se mencionó anteriormente, el retorno de la inversión para los sistemas de producción ART-snapdragon y sistema tradicional-snapdragon, se alcanzó a los 4 años de inicio del proyecto. De igual manera, la TIR fue de 50.6% y de 60%, a los ocho años de producción.

6.2.2. Estimación de la Huella Hídrica

La huella hídrica azul (HHA) obtenida en el experimento fue calculada para una producción de 300,000 tallos por hectárea. Este valor fue propuesto al escalar la cantidad de tallos sembrados en el experimento, es decir, 30 tallos m^{-2} . Para determinar la evapotranspiración del cultivo se usó la ecuación de Blaney-Criddle, a partir de la cual se estimó el uso de agua del cultivo, para el posterior cálculo de la HHA. De esta manera se obtuvo que, para el caso de girasol, la HHA fue de 132.86, 123.01 y 124.46 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ para ART, ARTc y SN, respectivamente. Mientras que, para snapdragon la estimación fue de 170.09, 123.01 y 186.52 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ para ART, ARTc y SN, respectivamente (ver tabla X y XI).

En estudios previos llevados a cabo en el área florícola colindante con el lago Naivasha en Kenia, se ha estimado que la HHA del cultivo en campo abierto y bajo invernadero de flores de corte fue de $4,404 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Para las flores cultivadas en campo abierto, la HHA corresponde solo al 24% de la huella hídrica total, mientras que, para las flores cultivadas bajo invernadero, la HHA asciende a 62%; esto se debe a que el consumo de agua por evaporación proviene completamente del agua de riego, es decir, no hay aporte por aguas lluvia o por escorrentía (Mekonnen *et al.*, 2012).

Valores similares al reportado por Mekonnen *et al.* (2012) fueron obtenidos en cultivos de girasol en una región semiárida al oeste de China, en donde el análisis de la huella hídrica durante tres años arrojó que la HHA oscilaba entre $4,573 - 7,172 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. En este caso, las diferencias anuales obtenidas se deben a la variabilidad en las condiciones climáticas, ya que normalmente, en el área de estudio prevalece la sequía, y las precipitaciones anuales son desiguales, lo que llevó a un déficit en el agua disponible (Quin *et al.*, 2016).

En cultivos tradicionales a campo abierto la producción de flores como el clavel, la astromelia y la rosa generan HHA de $11,104 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ (Baez-Silva, 2013), $10,318 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ (Velandia-Rubiano y López-Romero, 2014) y $1,124.8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ (Castro-Lozano y Barrera-Ruiz, 2015), respectivamente. En estos casos, los resultados de la HHA son significativamente mayores (hasta un 89%) a los obtenidos en el presente estudio, por lo cual se puede concluir que en términos de generación de HHA, los sistemas hidropónicos planteados para el cultivo de girasol y snapdragon resultan sostenibles, ya que ahorran grandes volúmenes de agua.

Tabla VII. Estimación de datos requeridos para la cuantificación de la Huella Hídrica Azul (HHA) para los tratamientos ART, ARTc y SN. La evapotranspiración determinada por medio de la ecuación de Blaney-Criddle. Kc: coeficiente de cultivo, ETc: evapotranspiración de cultivo.

Muestreo	Blaney-Criddle	Consumo de agua mm·d ⁻¹			Kc			ETc		
		ART	ARTc	SN	ART	ARTc	SN	ART	ARTc	SN
1	623.60	1,001.40	1,200.98	700.28	0.62	0.52	0.89	388.33	323.80	555.31
2	514.46	1,001.40	1,200.98	1,151.96	0.51	0.43	0.45	264.30	220.38	229.75
3	605.82	1,502.10	1,351.54	899.86	0.40	0.45	0.67	244.33	271.55	407.86
4	557.28	1,001.40	1,200.98	1,001.40	0.56	0.46	0.56	310.13	258.59	310.13
5	543.86	1,200.98	1,200.98	1,001.40	0.45	0.45	0.54	246.29	246.29	295.37
6	634.40	1,351.54	1,502.10	1,197.48	0.47	0.42	0.53	297.78	267.93	336.09
7	543.71	1,200.98	1,200.98	1,099.44	0.45	0.45	0.49	246.14	246.14	268.88
8	537.40	1,200.98	1,200.98	898.60	0.45	0.45	0.60	240.47	240.47	321.39

Tabla VIII. Cuantificación de la huella hídrica azul (HHA) para los tratamientos ART, ARTc y SN. UAC: uso de agua azul, HHA: componente de agua azul en la huella hídrica.

Muestreo	Girasol						Snapdragon						
	UAC (m ³ · ha ⁻¹)			HHA (m ³ · ha ⁻¹)			UAC (m ³ · ha ⁻¹)			HHA (m ³ · ha ⁻¹)			
	ART	ARTc	SN	ART	ARTc	SN	ART	ARTc	SN	ART	ARTc	SN	
1	151,447.79	126,280.09	166,592.57	0.50	0.42	0.56	194,163.84	126,280.09	249,888.86	0.65	0.42	0.83	
2	103,076.08	85,946.82	168,926.25	0.34	0.29	0.23	132,148.82	85,946.82	103,389.38	0.44	0.29	0.34	
3	95,290.14	105,905.36	122,356.99	0.32	0.35	0.41	122,166.84	105,905.36	183,535.48	0.41	0.35	0.61	
4	120,950.62	100,850.96	93,038.94	0.40	0.34	0.31	155,064.90	100,850.96	139,558.41	0.52	0.34	0.47	
5	96,051.38	96,051.38	88,611.14	0.32	0.32	0.30	123,142.79	96,051.38	132,916.71	0,41	0.32	0.44	
6	116,133.93	104,493.46	100,827.03	0.39	0.35	0.34	148,889.65	104,493.46	151,240.54	0.50	0.35	0.50	
7	95,996.55	95,996.55	80,663.44	0.32	0.32	0.27	123,072.50	95,996.55	120,995.16	0.41	0.32	0.40	
8	93,783.41	93,783.41	96,416.53	0.31	0.31	0,32	120.235.15	93,783.41	144,624.80	0.40	0.31	0.48	
			ΣHHA m ³ · d ⁻¹	0.36	0.34	0.34				ΣHHA m ³ · d ⁻¹	0.47	0.34	0.51
			ΣHHA m ³ · a ⁻¹	132.73	123.08	124.32				ΣHHA m ³ · a ⁻¹	170.16	123.08	186.48

6.2.3. Análisis de riesgos y ventajas

Dentro de los estudios de factibilidad, el reconocimiento y la identificación de las ventajas y desventajas y de los riesgos y oportunidades es clave para establecer la conveniencia de implementar un esquema de negocios, por lo que se consideró pertinente llevar a cabo un análisis de los sistemas planteados, con base en los resultados obtenidos de la evaluación financiera efectuada y en literatura previamente publicada. En la Tabla IX. se resumen algunos aspectos tenidos en cuenta en el análisis elaborado.

Tabla IX. Listado de ventajas, desventajas, riesgos y oportunidades de los sistemas hidropónicos con ART.

	Ventaja	Desventaja	Riesgo	Oportunidad
Disminución en el tiempo de crecimiento de las plantas.	X			
Reducción del área de cultivo.	X			
Reciclaje del sustrato de cultivo.	X			
Disminución en el agua empleada para el cultivo.	X			
Inversión inicial alta.		X		
Baja probabilidad de migración del sistema producción tradicional a los sistemas hidropónicos.		X		
Disminución en el uso de plaguicidas.	X			
Exposición a contaminantes de tipo biológico (virus, bacteria y protozoos) y a contaminantes emergentes.		X	X	
Acumulación de productos de degradación orgánica: ácidos fenólicos.			X	X
Acumulación de metales pesados en los tejidos vegetales.			X	X
Establecimiento de una microbiota amplio.				X

Algunas de las ventajas que fueron evidenciadas con el presente experimento fueron la disminución en el tiempo de crecimiento de las plantas empleadas, la reducción en el espacio, la posibilidad de reciclar el sustrato hidropónico (sin tener que llevar a cabo actividades relacionadas con la labranza de la tierra) y, la disminución notoria en el uso de agua, la cual fue 84% menor a la reportada en sistemas tradicionales para el cultivo de flores ornamentales (Baez-Silva, 2013; Velandia-Rubiano y López-Romero, 2014, Gutiérrez-Hernández, 2018). Pese a esto, la inversión inicial sí resultó ser más alta que en sistemas tradicionales (aunque el retorno de la inversión se alcanzó en 4 años) y, de acuerdo con lo reportado por Winker *et al.* (2020) aún existe una percepción de “antinaturalidad”, lo que hace difícil la migración de los sistemas de producción tradicionales a la hidroponía.

La reducción en el uso de plaguicidas en sistemas hidropónicos constituye otra ventaja en términos económicos, ya que la ausencia de suelo disminuye la propagación de enfermedades relacionadas con este. Un ejemplo son los microorganismos patógenos pertenecientes al phyla Fungi, los cuales requieren del suelo para su propagación. No obstante, los cultivos hidropónicos no están exentos de ser atacados por plagas como insectos y algunos tipos de hongos que se diseminan en el agua o en el aire (como el oídio) y que, bajo las condiciones climáticas adecuadas, pueden constituir un problema grave para los cultivos (Lommen, 2007; Lee y Lee, 2015; Suárez-Cáceres *et al.*, 2021).

Sin embargo, la clave para controlar la infestación de insectos y plagas está en la nutrición vegetal, ya que, como reportó Duarte-Gómez (2002), las plantas son atacadas en la medida en que su estado nutricional corresponda a los requerimientos tróficos del parásito. De hecho, se ha observado que hay una correlación positiva entre la concentración de nitrógeno y la incidencia de plagas. De acuerdo con esto, el suministro adecuado de nutrientes llevaría a la disminución en el ataque de insectos, lo cual es altamente viable en sistemas hidropónicos, en donde los nutrientes disueltos en el agua son aprovechados de manera más eficaz y eficiente que en suelo. En el presente estudio se evidenció la presencia de insectos del orden lepidóptera, los cuales atacaron principalmente a las plantas de girasol. De igual manera se observó la presencia de oídio en las hojas y tallos del girasol, principalmente. Ya se ha establecido que algunos nutrientes en los sistemas implementados se encontraban en concentraciones superiores a las necesarias para el crecimiento de las plantas, por lo que los datos observados concuerdan con la teoría establecida por Duarte-Gómez (2002) y mencionada al inicio de este párrafo.

Respecto al uso de ART en el cultivo de plantas un riesgo es la exposición a contaminantes de tipo biológico como microorganismos patógenos, principalmente de tipo entérico, como virus, bacterias y protozoos (como *Entamoeba histolytica*, la *Giardia intestinalis* y la *Cryptosporidium parvum*), y de origen no entérico como *Legionella* spp., *Mycobacterium* spp. y *Leptospira* (Wilson y Fuijoka, 1995; Fliermand, 1996, Neumann *et al.*, 1997; Toze, 2006). Los helmintos (nemátodos y gusanos planos) son otro tipo de parásitos intestinales que son transmitidos por ruta oral – fecal y son contraídos al consumir alimentos regados con aguas residuales crudas o parcialmente tratadas infectadas con el parásito (Peasey *et al.*, 2000; Toze, 2006). Adicionalmente, el uso de sistemas hidropónicos cerrados conlleva a la acumulación de productos de degradación orgánica excretados por microorganismos y exudados por la raíz (como ciertos ácidos fenólicos) que pueden generar alteraciones en el crecimiento de las plantas, afectando la absorción de minerales, el contenido de clorofila, la actividad de fitohormonas y la relación planta-agua. Jensen *et al.* (1996) demostraron inhibición de la absorción de K^+ en raíces de lechuga, cuando fueron expuestos al ácido salicílico o al ácido ferúlico. La probabilidad de acumulación de estos compuestos, generados naturalmente en sistemas agrícolas, es mayor en sistemas hidropónicos cerrados, en donde la renovación de agua es escasa (Waechter-Kristensen *et al.*, 1999). En tomate, por ejemplo, se evidenció que, en un sistema estático, la concentración de ácidos fenólicos fue hasta 1000 veces mayor a la reportada en suelo. Sin embargo, los efectos fueron evidenciados solamente en decoloración de la raíz y aumento en la cantidad de bacterias en la solución nutritiva, por lo que los autores aseveran un efecto especie-dependiente (Jung *et al.*, 2004). Teniendo esto en cuenta, también es importante mencionar que muchos ácidos y compuestos fenólicos tiene características microbianas, que pueden prevenir la proliferación de hongos como *Pseudomonas aeruginosa* y *Botrytis cinerea* (De Meyer y Höfte, 1997).

Los contaminantes emergentes también están presentes en las ART. Dentro de estos contaminantes se encuentran los compuestos farmacéuticamente activos (Pharmaceutical compound, PhAC por sus siglas en inglés), los compuestos disruptores endocrinos (Endocrine disruptor compounds, EDC por sus siglas en inglés) y los subproductos de desinfección (DBP por sus siglas en inglés) (Toze, 2006). Este tipo de sustancias constituyen especial preocupación porque se ha evidenciado que permanecen luego de los tratamientos convencionales que tiene lugar en la mayoría de las plantas de tratamiento (Peña-Álvarez y Castillo-Alanís, 2015; Noutsopoulos *et al.*, 2019), lo que implica que pueden acumularse en el medio ambiente e ingresar a la cadena alimentaria (Picó *et al.*, 2019), afectando no sólo a la salud humana, sino también a los ecosistemas (Toze, 2006; Magnusson y Persson, 2015).

De igual manera, la presencia de metales pesados como el plomo (Pb), el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el arsénico (As) y el cromo (Cr) en AR ha sido reportado, indicando bioacumulación de estos productos en diferentes especies de plantas (Prieto-Méndez *et al.*, 2009; Asati *et al.*, 2016). Debido a que los metales no se pueden descomponer, las concentraciones de estos dentro de la planta pueden llegar a exceder los niveles de tolerancia, afectando negativamente por inhibición de las enzimas citoplasmáticas y por daño de las estructuras celulares debido al estrés oxidativo (Van Assche y Clijsters, 1990; Jadia y Fulekar, 1999). El efecto tóxico indirecto es la sustitución de nutrientes esenciales en los sitios de intercambio catiónico de las plantas y la influencia negativa de los metales pesados en el crecimiento y las actividades de los microorganismos del suelo (Taiz y Zeiger, 2006). La reducción en el número de microorganismos benéficos puede conducir a disminución en la descomposición de la materia orgánica, que en sistemas hidropónicos llevaría a una acumulación de compuestos orgánicos y de ácidos fenólicos (Waechter-Kristensen *et al.*, 1999). Estos efectos tóxicos (tanto directos como indirectos) conducen a una disminución en el crecimiento de la planta que finalmente resulta en la muerte de esta (Khan *et al.*, 2015).

Pese a este panorama, el uso de sistemas hidropónicos con ART, parece ser una opción para el cultivo de plantas, tanto ornamentales como comestibles, ya que no solo se ha evidenciado una reducción en la cantidad de patógenos en las aguas, por medio de tratamientos como la competencia biológica o anitibiosis (Oyama *et al.*, 2005), sino que también las plantas han desempeñado un papel importante en la acumulación de contaminantes, principalmente en raíces (aunque también se ha evidenciado en hojas y tallos) (Rumi *et al.*, 2012; Kurwadkar *et al.*, 2017; Cifuentes-Torres *et al.*, 2019).

Es por todo lo expuesto anteriormente que es importante seguir abordando este tipo de investigaciones y seguir generando datos que respalden la sostenibilidad de esta tecnología que, a pesar de no ser nueva, es altamente rentable y proporciona soluciones en términos de contaminación ambiental y uso de los recursos, resultando en una alternativa para la producción de girasol y snapdragon con ART cruda.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

La hipótesis alternativa resultó ser verdadera, por lo que se evidenció que debe suplementarse el ART con micronutrientes como Cu, Zn y Fe, para contrarrestar las altas concentraciones de Na^+ y Cl^- . Adicionalmente, la adición de nitrógeno (en forma de NO_3^-) y fósforo, permitió compensar las pérdidas ocasionadas por las altas concentraciones de S. Sin embargo, estas concentraciones disminuyen la disponibilidad de Na^+ facilitando la adaptación de las plantas a las condiciones de estrés por salinidad. Lo que permitió que el ART proporcionara una calidad nutricional aceptable para llevar a plantas de las especies *H. annuus* y *A. majus* a estándares de comercialización internacional.

El uso de ART en hidroponía para la producción de girasol y snapdragon es viable en términos biológicos, ambientales y económicos a nivel piloto (sistemas individuales de 12 m², 110 l). La reducción de hasta un 87% en el consumo de agua es evidencia de esto y, adicionalmente se observó que el reúso del sustrato tipo arcilla expandida favorece el retorno de la inversión, disminuyendo también la disponibilidad de Cl^- en el agua de cultivo.

La mayor absorción de N y P fue observada en los estadios 2 – 4, correspondientes con la etapa reproductiva. Sin embargo, si se evidenció que el ARTc y la SN tuvieron exceso de estos dos elementos, por lo que pueden agregarse en menores concentraciones.

CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados aquí plasmados, se recomienda reducir el suministro de nutrientes, principalmente SO_4^- y PO_4^- .

Se recomienda trabajar con sustrato tipo arcilla expandida si la concentración de Na^+ y Cl^- está en concentraciones limitantes para los cultivos objeto de estudio.

Se recomienda el cultivo de las especies aquí empleadas en diferentes temporadas del año, para así tener más datos referentes a su crecimiento bajo diferentes condiciones climáticas.

Es importante hacer un seguimiento más estricto a las comunidades microbiológicas, que permitan entender los procesos de fijación, mineralización y nitrificación de los sistemas hidropónicos planteados.

Se recomienda integrar el sistema hidropónico con otros sistemas de cultivo, como los sistemas acuícolas, que lleven a la optimización del uso de nutrientes y de agua.

Debido a que no hubo un seguimiento estricto de nutrientes como el calcio, el magnesio, el potasio, el manganeso, el zinc, el cobre, el hierro, entre otros, se recomienda hacer un estudio en donde estos elementos sean incluidos, y se logre un balance de masas y una relación de consumo de todos los nutrientes.

CAPÍTULO 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdu, N., Abdullahi, A. A., Abdulkadir, A. (2017). Heavy metals and soil microbes. *Environmental Chemistry Letters*. 15(1): 65–84. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0587-x>
- Acevedo-Rico, M. A. (2017). *Diagnóstico del sistema de producción en cultivo de girasol ornamental (Helianthus annuus L.) en San Bartolo, Amanalco Becerra*. [Tesis para obtener grado de Especialidad en Floricultura]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Adepetu, J. A., Akapa, L. K. (1977). Root Growth and Nutrient Uptake Characteristics of Some Cowpea Varieties. *Agronomy Journal*. 69: 940–943.
- Adrover, M., Moyà, G., Vadell, J. (2013). Use of hydroponics culture to assess nutrient supply by treated wastewater. *Journal Environmental Management*. 127: 162–165. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.044>
- Ahmad, A., Ahmad, I., Ferdosi, M. F. H. (2020). Indigenous soilless substrate compositions affect growth, yield and quality of cut antirrhinum majus. *Sarhad Journal of Agriculture*. 36(2): 586–592. <https://doi.org/10.17582/JOURNAL.SJA/2020/36.2.586.592>
- Ait-Mouheb, N., Bahri, A., Thayer, B. ben, Benyahia, B., Bourrié, G., Cherki, B., Condom, N., Declercq, R., Gunes, A., Héran, M., Kitir, N., Molle, B., Patureau, D., Pollice, A., Rapaport, A., Renault, P., Riahi, K., Romagny, B., Sari, T., Harmand, J. (2018). The reuse of reclaimed water for irrigation around the Mediterranean Rim: a step towards a more virtuous cycle? *Regional Environmental Change*. 18(3): 693–705. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1292-z>.
- Albino-Garduño, R., Zavaleta-Mancera, H. A., Ruiz-Posadas, L. M., Sandoval-Villa, M., Castillo-Morales, A. (2008). Response of gerbera to calcium in hydroponics. *Journal of Plant Nutrition*. 31(1): 91–101. <https://doi.org/10.1080/01904160701741958>
- Alcántara-Cortés, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J. D., Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*. 17(32): 109–129.
- Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustainable cities & society*. 18: 74–77. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.003>
- Ali, A. M., Kelly, W. C. (1992). The effects of interfruit competition on the size of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*. 52: 69–76.

- Al-karaki, G. N. (2011). Utilization of treated sewage wastewater for green forage production in a hydroponic system. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 23 (1): 80–94. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v23i1.5315b>
- Altuve, J., Germán, J., Germán, A. (2004). El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión. In *Mérida. Venezuela*.
- Amiri, H., Jaafarzadeh, N., Ahmadi, M., Martínez, S. S. (2011). Application of LECA modified with Fenton in arsenite and arsenate removal as an adsorbent. *Desalination*. 272 (1–3): 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.01.018>
- Andrade-Oliveira, M. L., da Silva-Paz, V. P., Santos-Gonçalves, K., Santos-Oliveira, G. X. (2017). Crescimento e produção de girassol ornamental irrigado com diferentes lâminas e diluições de água residuária. *IRRIGA*. 22(2): 204–219. <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v22n2p204-219>
- Arano, C. R. (2007). Hidroponía: algunas páginas de su historia. *International Journal of Horticulture and Food Science*. 58: 1–10.
- Asao, T. (2012). *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches* (1st ed.). In Tech.
- Asati, A., Pichhode, M., Nikhil, K. (2016). Effect of heavy metals on plants: an overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*. 5(3): 56-66.
- A'saf, T., Al-Ajlounia, M.G., Ayada, J.Y., Othmana, Y. A., Hilaire, R. Performance of six different soilless green roof substrates for the Mediterranean región. *Science of The Total Environment*. 730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139182>.
- Ávila, J. A. (2001). El mercado de los fertilizantes en México/Situación actual y perspectivas. *Problemas Del Desarrollo*. 127: 189–207. <https://www.jstor.org/stable/43839036>
- Avila-Sanchez, H. (2019). Agricultura Urbana y Periurbana: Reconfiguraciones territoriales y potencialidades en torno a los sistemas alimentarios urbanos. *Investigaciones Geográficas*. 98: 1–21. <https://doi.org/10.14350/riq.59785>
- Awad, Y. M., Lee, S. E., Ahmed, M. B. M., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, I. S., Kim, H. S., Vithanage, M., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E. E., Ok, Y. S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*. 156: 581–588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>

- Baddadi, S., Bouadila, S., Ghorbel, W., Guizani, A. A. (2019). Autonomous greenhouse microclimate through hydroponic design and refurbished thermal energy by phase change material. *Journal of Cleaner Production*. 211: 360–379. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.192>
- Baez-Silva, W. R. (2013). Evaluación de la huella hídrica en la producción de clavel estándar (*Dianthus caryophyllus*) en la Sabana de Bogotá [Especialidad en Gerencia Ambiental]. Universidad Libre. Bogotá, Colombia.
- Barbosa, G. L., Daiane, F., Gadelha, A., Kublik, N. (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*. 12: 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
- Bass, B., Baskaran, B. (2001). Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. In *CCAF impacts and adaptation progress report*. <https://doi.org/NRCC-46737>
- Becerra-Castro, C., Lopes, A. R., Vaz-Moreira, I., Silva, E. F., Manaia, C. M., Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*. 75: 117–135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.001>
- Bedabati, L. Gupta, A. (2016). Phytoremediation of lead using *Ipomoea aquatica* Forsk. in hydroponic solution. *Chemosphere*. 156: 407–411. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.001>
- Benedetto, D., Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA*. 1–25.
- Benlloch Marín, M. (1979). *Influencia del potasio y del ácido giberelico en crecimiento vegetal*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=54000&info=resumen&idioma=SPA>
- Bichsel, R. G., Starman, T. W., Wang, Y.T. (2008). Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Requirements for Optimizing Growth and Flowering of the Noble Dendrobium as a Potted Orchid. *Hortscience*. 43(2): 328–332. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.2.328>
- Biscaro, G. A., Riquelme Machado, J., Da, M., Tosta, S., Mendonça, V., Soratto, R. P., Alves De Carvalho, L. (2008). *Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia-MS*. 32 (5): 1366-1373.
- Blamey, F. P. C., Zollinger, R. K., Schneiter, A. A. (1997). Sunflower Production and Culture. In *Sunflower Technology and Production: Vol. agronomymo*. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. pp. 595–670 <https://doi.org/10.2134/agronmonogr35.c12>

- Bodale, I., Mihalache, G., Achiței, V., Teliban, G. C., Cazacu, A., Stoleru, V. (2021). Evaluation of the nutrients uptake by tomato plants in different phenological stages using an electrical conductivity technique. *Agriculture (Switzerland)*. 11(4): 1 – 12. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040292>.
- Boyden, B. H. Rababah, A. A. (1996). Recycling nutrients from municipal wastewater. *Desalination*. 106: 241–246. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(96\)00114-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(96)00114-2)
- Bradley, P. Marulanda, C. (2001). Simplified hydroponics to reduce global hunger. *Acta Horticola*. 554: 289–295. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2001.554.31>
- Buehler, D. Junge, R. (2016). Global trends and current status of commercial urban rooftop farming. *Sustainability*. 8(1108): 1–16. <https://doi.org/10.3390/su8111108>
- Buwalda, F., Baas, R., van Weel, P. A. (1994). A soilless Ebb-and-Flow System for all-year round Chrysanthemums. *Acta Horticola*. 361: 123–132. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.361.10>
- Cardillo, E., Bernal, C. J. (2006). Morphological response and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings at different shade levels. *Forest Ecology and Management*. 222: 296-301.
- Carey, R. O. Migliaccio, K. W. (2009). Contribution of Wastewater Treatment Plant Effluents to Nutrient Dynamics in Aquatic Systems: A Review. *Journal of Environmental Management*. 44: 205–217. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9309-5>
- Caro-Romero, L. N. (2014). *Estimación de la huella hídrica de la producción de lechugas “baby” bajo sistema hidropónico* [Profesional de Ingeniería Agrónoma, Universidad de Chile]. Santiago de Chile, Chile.
- Carrillo-Ávila, E., García-Acedo, C., Arreola-Enríquez, J., Landeros-Sánchez, C., Osnaya-González, M. L., Aguilar, C. C. (2015). Evaluation of Four Sunflower Hybrids (*Helianthus annuus*) under Three Irrigation Regimes and Two Doses of Fertilization on Flower Production. *Journal of Agricultural Science*. 7(4): 183 – 194. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n4p183>
- Carter, C. R., Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 38(5): 360–387. <https://doi.org/10.1108/096000030810882816>
- Carter, C.T., Grieve, C. M. (2008). Mineral Nutrition, Growth, and Germination of *Antirrhinum majus* L. (Snapdragon) when Produced Under Increasingly Saline Conditions. *Hortscience*. 43(3): 710–718.
- Carvajal, M., Martínez, V., Cerdá, A. (1999). Influence of magnesium and salinity on tomato plants grown in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*. 22(1): 177–190. <https://doi.org/10.1080/01904169909365616>

- Casierra-Posada, F., Ebert, G., Lúdders, P. (2000). Efecto de la salinidad por Cloruro de Sodio sobre el balance de nutrientes en plantas de lulo (*Solanum quitoense* L.). *Agronomía Colombiana*.17: 85–90.
- Castro, S., Davis, L. C., Erickson, L. E. (2004). Temperature and pH Effects on Plant Uptake of Benzotriazoles by Sunflowers in Hydroponic Culture. *International Journal Phytoremediation*. 6(3): 209–225. <https://doi.org/10.1080/16226510490496384>
- Castro Lozano, C. V., Barrera Ruiz, N. J. (2015). Evaluación de la huella hídrica en la producción de rosas y habas en tres hectáreas del municipio de Sesquilé. [Pregrado en Ingeniería Ambiental y Sanitaria]. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
- Chavarría-Párraga, J., Vera-Montenegro, L. (2010). Híbridos de girasol ornamental sometidos a diferentes densidades de siembra. *ESPAMCIENCIA*. 1(2): 60–64. <https://www.researchgate.net/publication/279897963>
- Chekli, L., Kim, J. E., el Saliby, I., Kim, Y., Phuntsho, S., Li, S., Ghaffour, N., Leiknes, T. O., Kyong Shon, H. (2017). Fertilizer drawn forward osmosis process for sustainable water reuse to grow hydroponic lettuce using commercial nutrient solution. *Separation and Purification Technology*.181: 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.03.008>
- Cho, L. H., Yoon, J., An, G. (2017). The control of flowering time by environmental factors. *Plant Journal*. 90(4): 708–719. <https://doi.org/10.1111/TPJ.13461>
- Choque-Mendoza, D., Condori-Copana, M. (2017). Producción de flores ornamentales cultivadas en invernaderos hidropónicos en la Comunidad Belén. [Licenciatura en administración de empresas y organizaciones públicas]. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Chow, K. K., Wang, J. Y., Tay, J. H. (2001). Hydroponic cultivation of leafy vegetables in primary and secondary municipal wastewater. *Acta Horticulturae*, 554: 139–146. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.554.14>
- Churilova, E., Midmore, D. (2019). Vermiliquer (Vermicompost Leachate) as a Complete Liquid Fertilizer for Hydroponically-Grown Pak Choi (*Brassica chinensis* L.) in the Tropics. *Horticulturae*. 5 (26):1 - 22. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010026>
- Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L., Correa-Reyes, G., Daesslé, L. W. (2020). Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. *Water Environmental Journal*. 35: 166–180. <https://doi.org/10.1111/wej.12617>

- Cornish, P. S. (1992). Use of high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grown in hydroponic culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 32: 513–520. <https://doi.org/10.1071/EA9920513>
- Cornucopia, I. (2015). The Organic Hydroponics Dichotomy. In NOSB. <http://tilth.org/farmers/otco-hydroponic-faqs> [Acceso 16 agosto, 2019].
- Corrales-González, M., Rada, F., Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook. F.). *Acta Agronómica*. 65(3): 255. <https://doi.org/10.15446/acaq.v65n3.49555>
- Corrêa, R. M., Pinto, J. E. B. P., Pinto, C. A. B. P., Faquin, V., Reis, É. S., Monteiro, A. B., Dyer, W. E. (2008). A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*. 116(1): 17–20. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.031>
- Cramer, G.R. (1997). Uptake and role of ions in salt tolerance. En: Jaiwal, P.K., Singh, R.P., Gulati, A. (eds.). *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants* (pp. 55-86). New Delhi: Oxford & IBH Publishing.
- Cui, L. H., Luo, S. M., Zhu, X. Z., Liu, Y. H. (2003). Treatment and utilization of septic tank effluent using vertical-flow constructed wetlands and vegetable hydroponics. *Journal of Environmental Sciences*. 15(1): 75–82.
- da Silva Cuba Carvalho, R., Bastos, R. G., Souza, C. F. (2018). Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system. *Agricultural Water Management*. 203: 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.028>
- Dairo, F. A. S., Adanlawo, I. G. (2007). Nutritional Quality of *Crassocephalum crepidioides* and *Senecio bialfrae*. *Pakistan Journal of Nutrition*. 6(1): 35–39.
- Damasceno, L. M. O., Andrade Júnior, A. S. de, y Gheyi, H. R. (2010). Cultivation of gerbera irrigated with treated domestic effluents. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 14(6): 582–588. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662010000600003>
- De Meyer, G., Höfte, M. (1997). Salicylic Acid Produced by the Rhizobacterium *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2 Induces Resistance to Leaf Infection by *Botrytis cinerea* on Bean. *Phytopathology*. 87 (6): 589 – 593. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.6.588>.
- Duarte-Gómez, W.H. 2002. Efecto de la nutrición vegetal sobre los insectos plaga en los cultivos. *Revista UDCA, Actualidad & Divulgación científica*. 5 (1): 3 – 12.

- de Andrade, L. O., Gheyi, H. R., y Nobre, R. G., Dias, S., Costa, E., Nascimento, S. (2012). Qualidade de flores de girassóis ornamentais irrigados com águas. *Idesia*. 30(2): 19–27. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292012000200003>
- de Castro-Lima, D., Barbosa-Mendes, N. v., Saldanha, M. F., de Medeiros-Correa, M. C., Natale, W., y Taniguchi-Kenji, C. A. (2021). Initial growth and nutrient accumulation in pitaya plants at different phenological stages. *Revista Caatinga*. 34(3): 720–727. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n324rc>
- de la Fuente, E. B., Suarez, S. A. (2008). Environmental problems related to human activities: agriculture TT. *Ecologia Austral*. 18(3): 239–252.
- Decorte, T., Potter, G. R. (2015). The globalisation of cannabis cultivation: A growing challenge. *International Journal Drug Policy*. 26: 221–225. <https://doi.org/10.1016/j.drugpo.2014.12.011>
- Dhillon, B. S., Sharma, P. K. (2016). Emergence and growth dynamics of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in relation to sowing dates, densities and nitrogen rates. *Current Advances in Agricultural Sciences (An International Journal)*. 8(1): 69. <https://doi.org/10.5958/2394-4471.2016.00014.9>
- Díaz, A. (n.d.). *Las chinampas, una forma renovada de agricultura ecológica milenaria*. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/7/3479/32.pdf>. [Acceso 16 agosto, 2019].
- Distefano, T., y Kelly, S. (2017). *Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth*. 142: 130–147.
- Dole, J. M., Wilkins, H. F. (1999). *Floriculture: principles and species* (2nd ed.). Prentice Hall. http://zamoto-02.zamorano.edu/tesis_infolib/portadas/Ph3758.jpg
- Dolatabadian, A., Modarres-Sanavy, S.A.M, Ghanati, F. Effect of Salinity on Growth, Xylem Structure and Anatomical Characteristics of Soybean. *Notulae Scientia Biologicae*. 3 (1): 41-45. <https://doi.org/10.15835/nsb315627>.
- Eigenbrod, C., Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35: 483–498. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0273-y>
- Elfanssi, S., Ouazzani, N., Mandi, L. (2018). Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigated by treated domestic wastewater. *Agricultural Water Management*, 202, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.003>
- Elrashidi, M.A., West, L.T., Seybold, C.A., Benham, E.A., Schoeneberger, P.J., Ferguson, R. (2010). Effects of Gypsum Addition on Solubility of Nutrients in Soil Amended with Peat. *Soil Science*. 175 (4): 162 – 172. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181dd51d0>.

- Erwin, J. (2007). Factors affecting flowering in ornamental plants. In N. O. Anderson. *Flower Breeding and Genetics*. Springer. California. USA. 7–48 pp.
- Escalante-Estrada, L.E., Escalante-Estrada, I., Linzaga-Elizalde, C. (2014) Densidad de siembra de girasol forrajero. *Agronomía Costarricense*. 32(2): 177-182.
- FAO. (2015). World fertilizer trends and outlook to 2018. In *World fertilizer trends*. <http://www.fao.org/3/a-i6895e.pdf>
- FAO. (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe* (J. M. Sagasta, Ed.). Sitio web: <https://www.fao.org/3/i7748s/i7748s.pdf>. Con acceso: 12 de enero de 2022.
- Farahbakhshazad, N., Morrison, G.M. 2000. A Constructed Vertical Macrophyte System for the Retention of Nitrogen in Agricultural Runoff. *Environmental Technology*. 21(2): 217-223. <https://doi.org/10.1080/09593330.2000.9618903>
- Feigin, A., Ginzburg, S., Gilead, S., Ackerman, A. (1986). Effect of NH₄/NO₃ ratio in nutrient solution on Growth and Yield of greenhouse Roses. *Acta Horticulturae*. 189: 127–135.
- Ferguson, C. G., Vuppalapati, P. G., Stone, M. J., Gray, E. (2012). Evaluation of Cultivars of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Selected Environments for Production of Cut Flowers. *Journal of the Kentucky Academy of Science*. 73(2): 90–95. <https://doi.org/10.3101/1098-7096-73.2.90>
- Ferrarezi, R. S. Testezlaf, R. (2016). Performance of wick irrigation system using self-compensating troughs with substrates for lettuce production. *Journal of Plant Nutrition*. 39(1): 147–161. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.983127>
- Figueiredo Lobo, T., Grassi Filho, H. (2009). Sewage sludge levels on the development and nutrition of Sunflower plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 9(3): 245–255. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912009000300007>
- Fliermand, C. B. (1996). Ecology of Legionella: From Data to Knowledge with a Little Wisdom. *Microbiology Ecology*. 32: 203–228. <https://doi.org/10.1007/BF00185888>
- Furtado, G. F., Chaves, L. H. G. (2018). Growth Rates and Sunflower Production in Function of Fertilization with Biochar and NPK. *Journal of Agricultural Science*. 10(2): 260 – 270. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n2p260>
- Furukawa, K., Fujita, M. (1993). Advanced treatment and food production by hydroponic type wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*. 28(2): 219–228.

- Gao, G., Xiong, H., Chen, J., Chen, K., Chen, P., Yu, C., y Zhu, A. (2018). Hydroponic method for ramie and removal of nitrogen and phosphorus from livestock wastewater. *International Journal of Phytoremediation*. 20(6): 545–551. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1393395>
- García-Ortiz, P. M. (2018). Apoyo en las labores agronómicas y manejo postcosecha de cultivo Snapdragon (*Antirrhinum majus* L.), finca La Divina Providencia, Guatemala [Tesis de Ingeniería agronómica]. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Garousi, F., Kovács, B., Andrási, D., Veres, S. (2016). Selenium Phytoaccumulation by Sunflower Plants under Hydroponic Conditions. *Water, Air and Soil Pollution*. 227: 227–382. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3087-5>
- Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana*. 13(3): 27–36.
- Gericke, W. F. (1938). Crop Production without Soil. *Nature*. 141(26): 536–540.
- Gilabert-Alarcón, C., Salgado-Méndez, S. O., Daesslé, L. W., Mendoza-Espinosa, L. G., Villada-Canela, M. (2018). Regulatory challenges for the use of reclaimed water in Mexico: A case study in Baja California. *Water*. 10(10): 1 – 22. <https://doi.org/10.3390/w10101432>
- Gomiero, T. (2018). Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: Findings and issues. *Applied Soil Ecology*. 123: 714–728. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.014>
- González Carmona, E., Torres Valladares, C. I. (2014). La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el Valle de México: caso Xochimilco. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 34: 699–709. <http://www.redalyc.org/pdf/141/14131514005.pdf>
- González-García, M., Fernández-López, C., Pedrero-Salcedo, F., Alarcón, J. J. (2018). Absorption of carbamazepine and diclofenac in hydroponically cultivated lettuces and human health risk assessment. *Agricultural Water Management*. 206: 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.018>
- Goodman, W., Minner, J. (2019). Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City. *Land Use Policy*. 83: 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.038>
- Gopal, B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems. *Water Science and Technology*. 40(3): 27 – 35. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00468-0](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00468-0)

- Gorham, J., Bridges, J. (1995). Effects of calcium on growth and leaf ion concentrations of *Gossypium hirsutum* grown in saline hydroponic culture. *Plant and Soil*. 176: 219 – 227. <https://doi.org/10.1007/BF00011785>
- Gottschall, N., Boutin, C., Crolla, A., Kinsley, C., Champagne, P. (2007). The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada. *Ecological Engineering*. 29(2): 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.06.004>
- Grattan, S.R., Grieve, C.M. Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 38: 275-300. <https://doi.org/10.1201/9780824746728.ch9>
- Grewal, H. S., Maheshwari, B., Parks, S. E. (2011). Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. *Agricultural Water Management*. 98: 841–846. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.010>
- Grieve, C. M., Poss, J. A., Grattan, S. R., Shouse, P. J., Lieth, J. H., Zeng, L. (2005). Productivity and mineral nutrition of Limonium species irrigated with saline wastewaters. *HortScience*. 40(3): 654–658.
- Grzeszczuk, M., Stefaniak, A. (2016). Biological value of various edible flower species. *Acta scientiarum Polonorum*. 15(2): 109-119.
- Grusak, M. A. (2001). Plant Macro- and Micronutrient Minerals. *Encyclopedia of life sciences*. 5 pp.
- Guisolfi, L. P., Monaco, P. A. V., Haddade, I. R., Krause, M. R., Meneghelli, L. A. M., Almeida, K. M. (2018). Production of cucumber seedlings in alternative substrates with different compositions of agricultural residues. *Revista Caatinga*. 31(3): 791–797. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n330rc>
- Gutiérrez-Hernández, S. G. (2018). Huella hídrica en la producción de rosas de corte en dos fincas de la Sabana de Bogotá [maestría en Ciencias Ambientales]. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- Haddad, M., Mizyed, N. (2011). Evaluation of various hydroponic techniques as decentralised wastewater treatment and reuse systems. *International Journal of Environmental Studies*. 68(4): 461–476. <https://doi.org/10.1080/00207233.2011.582701>
- Haghighi, M., Nikbakht, A., Pessarakli, M. (2016). Effects of humic acid on remediation of the nutritional deficiency of gerbera in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*. 39(5): 702 - 713. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1087560>

- Hamid, S. H. A., Lananan, F., Noor, N. A. M., Endut, A. (2022). Physical filtration of nutrients utilizing gravel-based and lightweight expanded clay aggregate (LECA) as growing media in aquaponic recirculation system (ARS). *Aquacultural Engineering*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102261>
- Hamlin, R. L., Mills, H. A. (2001). Pansy floral development and nutrient absorption as influenced by temperature, nitrogen form, and stage of plant development. *Journal of Plant Nutrition*. 24(12): 1975–1985. <https://doi.org/10.1081/PLN-100107609>
- Hansen, A. Larkin. (2010). *The organic farming manual: a comprehensive guide to starting and running a certified organic farm*. North Adams, MA: Storey Books.
- Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., Hawrylak-Nowak, B. (2018). Plant nutrients and abiotic stress tolerance. 525 pp. Springer Singapore. Gateway East, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8>
- Herklotz, P. A., Gurung, P. Vanden, B., Kinney, C. A. (2010). Uptake of human pharmaceuticals by plants grown under hydroponic conditions. *Chemosphere*. 78: 1416–1421. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.048>
- Hernández-Jiménez, A., Vera-Macias, L., Naveda-Basurto, C.A., Guzmán-Cedeno, A.M., Vivar-Arrieta, M., Zambrano, T.R., Mesías-Gallo, F., Ormanza, K., León-Aguilar, R.V., López-Álava, G. A. (2017). Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra en las partes media y baja de la Microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*. 38(1): 50–56. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n1/ctr06117.pdf>
- Hernández-Martínez, J. M., González-León, Y., Hernández-García, B. (2015). Espaciado entre plantas y número de hojas en el tabaco negro tapado. *Cultivos Tropicales*. 36(1): 116–121. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193237111015>
- Herre, A., Siebe, C., Kaupenjohann, M. (1996). Effect of irrigation water quality on organic matter, Cd and Cu mobility in soils of central Mexico. *Water Science Technology*. 50 (2): 277–284. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0142>
- Hird, R., Bolton, M. (2016). Migration of sodium chloride in dry porous materials. The Royal Society Publishing. 472: 1- 20. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2015.0710>
- Hoagland, D. R. y Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural experiment station*. 347: 1–32.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. (2011). *The Water Footprint Assesment Manual*. Earthscan. Washington, USA. 199 pp.

- Ignatius, A., Arunbabu, V., Neethu, J., Ramasamy, E. (2014). Rhizofiltration of lead using an aromatic medicinal plant *Plectranthus amboinicus* cultured in a hydroponic nutrient film technique (NFT) system. *Environmental Science and Pollution Research*. 21: 13007–13016. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3204-1>
- Inaba, Z., Ohshiro, M. (2005). Effects of planting density and methods of raising seedlings on flowering, yield and quality of cut flowers in Snapdragons (*Antirrhinum majus* L.). *Environmental Control Biology*. 43(3): 201–210. <https://doi.org/10.2525/ecb.43.201>
- Jadia, C. D., Fulekar, M. H. (2009). Phytoremediation of heavy metals: recent techniques. *African journal of biotechnology*. 8(6): 921 – 928.
- January, M. C., Cutright, T. J., Keulen, H., Wei, R. (2008). Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: Can *Helianthus annuus* hyperaccumulate multiple heavy metals? *Chemosphere*. 70: 531–537. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.066>
- Jarecki, M. K., Chong, C., Voroney, R. P. (2005). Evaluation of Compost Leachates for Plant Growth in Hydroponic Culture. *Journal of Plant Nutrition*. 28(4): 651–667. <https://doi.org/10.1081/PLN-200052639>
- Jensen, A.B., Busk, P.K., Figueras, M., Albá, M.M., Peracchia, G., Messenger, R., Goday, A., Pagés, M. (1996). Drought signal transduction in plants. *Plant Growth Regulation*. 20: 105–110. <https://doi.org/10.1007/BF00024006>
- Jimenez, B. (2005). Treatment technology and standards for Agricultural wastewater reuse: a case study in Mexico. *Irrigation and Drainage*. 54: 23–33. <https://doi.org/10.1002/ird.183>
- Jones, J. B. (1982). Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies. *Journal of Plant Nutrition*. 5(8): 1003–1030. <https://doi.org/10.1080/01904168209363035>
- JRC. (2017). *Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge*. Publications Office. <https://doi.org/10.2760/887727>
- Kageyama, Y. (1991). Effect of Nitrogen concentration in a Hydroponic solution on Nitrogen uptake and growth of tomato plants. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 60(3): 583–592. <https://doi.org/10.2503/jjshs.60.583>
- Kalaivani, K., Jawaharlal, M. (2019). Study on physical characterization of coco peat with different proportions of organic amendments for soilless cultivation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 8(3): 2283–2286.

- Kalantari, F., Tahir, O., Joni, R. A., Fatemi, E. (2018). Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. *Journal of Landscape Ecology*. 11(1): 35–60. <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016>
- Khalaj, M. A., Amiri, M., Sindhu, S. S. (2011). Response of different growing media on the growth and yield of gerbera in hydroponic open system. *Indian Journal of Horticulture*. 68(4): 583–586.
- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., Qamar, Z., Waqas, M. (2015). The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. *Environmental science and pollution research*. 22(18): 13772–13799. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4881-0>
- Khan, S., Khan, N. A., Bano, B. (2017). In-sights into the effect of heavy metal stress on the endogenous mustard cystatin. *International Journal of Biological Macromolecules*. 105: 1138–1147. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.146>
- Knight, G., Hansen, S., Connor, M., Poulsen, H., McGovern, C., Stacey, J. (2010). The results of an experimental indoor hydroponic Cannabis growing study, using the “Screen of Green” (ScrOG) method-Yield, tetrahydrocannabinol (THC) and DNA analysis. *Forensic Science International*. 202: 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.04.022>
- Krishnasamy, K., Nair, J., y Bäuml, B. (2012). Hydroponic system for the treatment of anaerobic liquid. *Water Science and Technology*. 65(7): 1164–1171. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.031>
- Kulak, M., Graves, A., Chatterton, J. (2013). Reducing greenhouse gas emissions with urban agriculture: A Life Cycle Assessment perspective. *Landscape and Urban Planning*. 111: 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.007>
- Kumar, B., Smita, K., Cumbal Flores, L. (2017). Plant mediated detoxification of mercury and lead. *Arabian Journal of Chemistry*. 10: S2335–S2342. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.08.010>
- Kurwadkar, S., Struckhoff, G., Pugh, K., Singh, O. (2017). Uptake and translocation of sulfamethazine by alfalfa grown under hydroponic conditions. *Journal Environmental Science*. 53: 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.04.019>
- Lee, S., Lee, J. (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae – Amsterdam*, 195: 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.011>
- Lenton, S., Frank, V. A., Barratt, M. J., Potter, G. R., Decorte, T. (2018). Growing practices and the use of potentially harmful chemical additives among a sample of small-scale cannabis growers in three

countries. *Drug Alcohol Dependence*. 192: 250–256.
<https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2018.07.040>

Li, Q., Li, X., Tang, B., y Gu, M. (2018). Growth Responses and Root Characteristics of Lettuce Grown in Aeroponics, Hydroponics, and Substrate Culture. *Horticulturae*. 4(35): 1–9.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae4040035>

Libutti, A., Gatta, G., Gagliardi, A., Vergine, P., Pollice, A., Beneduce, L., Disciglio, G., Tarantino, E. (2018). Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*. 196: 1–14.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>

Liedl, B. E., Bombardiere, J., Chaffield, J. M. (2006). Fertilizer potential of liquid and solid effluent from thermophilic anaerobic digestion of poultry waste. *Water Science Technology*. 53(8): 69–79.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16784191>

Lommen, W.J.M. (2017). The canon of potato science: 27. Potato Research.
<https://doi.org/10.1007/s11540-008-9053-x>

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*. 193: 265–275.

López-Anchondo, A; López-Ortiz, C; Mejía-Hernández y López-de la Cruz, D. (2017). Hidroponía una alternativa sustentable para el cultivo sin suelo: características y aspectos básicos. *Tópicos Selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente*. 4: 31–54.

Madikizela, L. M., Ncube, S., Chimuka, L. (2018). Uptake of pharmaceuticals by plants grown under hydroponic conditions and natural occurring plant species: A review. *Science of the Total Environment*. 636: 477–486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.297>

Magaña-Dueñas, V., López-Bucio, J., Bletrán-Peña, E. (2015). El transporte de auxinas y su impacto sobre el desarrollo vegetal. *Ciencia Nicolaita*. 64: 22 – 42.

Magnusson, U., Persson, S. (2015). Endocrine Disruptors in Domestic Animal Reproduction: A Clinical Issue? *Reproduction in Domestic Animals*. 50: 15–19. <https://doi.org/10.1111/rda.12563>

Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., Mditshwa, A. (2020). Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science of the Total Environment*. 698: 1 – 11.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134154>

- Maher, M., Prasad, M., Raviv, M. (2008). Organic soilless media components. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. 504 pp. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50013-7>
- Mahjoor, F., Ghaemi, A. A., Golabi, M. H. (2016). Interaction effects of water salinity and hydroponic growth medium on eggplant yield, water-use efficiency, and evapotranspiration. *International Soil and Water Conservation Research (ISWCR)*. 4: 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.04.001>
- Marschner, H. 1997. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. 889 pp.
- Martínez-Franco, E., Parra-Jiménez, I.V. 2011. Estudio de factibilidad para la creación de una empresa de producción y comercialización de gerberas, “gerberas del Café” en la ciudad de Pereira. [Pregrado en Ingeniería industrial]. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Marulanda, C. (2003). organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación programa de las Naciones Unidas para el desarrollo la huerta hidropónica popular Curso Audiovisual. FAO. <http://www.fao.org/3/a-ah501s.pdf>
- Mavrogianopoulos, G., Vogli, V., Kyritsis, S. (2002). Use of wastewater as a nutrient solution in a closed gravel hydroponic culture of giant reed (*Arundo donax*). *Bioresource Technology*. 82(2): 103–107. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00180-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00180-8)
- Maathuis, F.J.M. y Amtmann, A. (1999). K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: The basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. *Annals of Botany*. 84(2): 123-133.
- McKeehen, J. D., Mitchell, C. A., Wheeler, R. M., Bugbee, B., Nielsen, S. S. (1996). Excess nutrients in hydroponic solutions alter nutrient content of rice, wheat, and potato. *Advances in Space Research: The Official Journal of the Committee on Space Research (COSPAR)*. 18(4–5): 73–83. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00863-A](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00863-A)
- Mendoza-Espinosa, L. G., Cabello-Pasini, A., Macias-Carranza, V., Daessle-Heuser, W., Orozco-Borbón, M. V., Quintanilla-Montoya, A. L. (2008). The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines. *Water Science Technology*. 57: 1445–1450. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.242>
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., Becht, R. 2012. Mitigating the Water Footprint of Export Cut Flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya. *Water Resource Management*. 26: 3725–3742. <http://doi.org/10.1007/s11269-012-0099-9M>
- Mendoza-Espinosa, L.G., Burgess, J.E., Daesslé, L., Villada-Canela, M. (2019). Reclaimed water for the irrigation of vineyards: Mexico and South Africa as case studies. *Sustainable Cities and Society*. 51: 1 – 10. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101769>

- Meneses, M., Pasqualino, J. C., Castells, F. (2010). Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. *Chemosphere*. 81(2): 266 – 272. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.053>
- Mengel, K., Kirkby, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (4ta. edición). Instituto Internacional de la Potasa.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. (2001). Principles of plant nutrition. In *Dordrecht: Kluwer* (5th ed.). <https://doi.org/10.1093/aob/mch063>
- Micallef, S.A., Channer, S., Shiaris, M.P., Colon-Carmona, A. (2009). Plant age and genotype impact the progression of bacterial community succession in the Arabidopsis rhizosphere. *Plant signaling & behavior*. 4(8): 777- 780.
- Michalska, M., Asp, H. (2001). Influence of lead and cadmium on growth, heavy metal uptake, and nutrient concentration of three lettuce cultivars grown in Hydroponic culture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32: 571–583. <https://doi.org/10.1081/CSS-100103029>
- Mlih, R., Bydalek, F., Klumpp, E., Yaghi, N., Bol, R., Wenk, J. (2020). Light-expanded clay aggregate (LECA) as a substrate in constructed wetlands – A review. *Ecological Engineering*, 148: 1 – 15. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2020.105783>
- Monsalve, O. I., Cailimas, V. A., Bojacá, C. R. (2011). Evaluación técnica y económica del pepino y el pimentón como alternativas al tomate bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 5(1): 69–82.
- Mordor Intelligence. (2019). *Hydroponics Market | Growth, Trends, and Forecasts (2019-2024)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hydroponics-market>
- Moreno-Pérez, E; Mora-Aguilar, R; Sánchez-del Castillo, F García-Pérez, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura*.17(2): 5–18.
- Morgan, L. (1999). *Nutrient Film Technique (NFT) Production of Lettuce*. http://www.cropking.com/NFT_lettuce1.shtml
- Morillo, G., Angulo, N., Sea, D., Mendoza, J., Vargas, L., Herrera, L., Cárdenas, C. (2004). *Uso de aguas residuales tratadas en el desarrollo de cultivos hidropónicos*. http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/VE08176_Morillo.pdf
- Mujeriego, R. (1990). Riego con agua residual municipal regenerada. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 473 pp.

- Nachshon, U., Weisbrod, N., Dragila, M., Grader, A. (2016). Combined evaporation and salt precipitation in homogeneous and heterogeneous porous media. *Water Resources Research*. 47(3): 1-16. <https://doi.org/10.1029/2010WR009677>
- Naeni, M., Khoshgoftarmanesh, A., Fallaci, A. (2006). Partitioning of chloride, sodium and potassium and shoot growth of three pomegranate cultivars under different levels of salinity. *Journal of plant nutrition*. 29 (10): 1835 – 1843. <https://doi.org/10.1080/01904160600899352>
- Navarro-López, E. (2010). Uso del agua residual en la producción de tomate hidropónico en invernadero. Universidad Autónoma Chapingo.
- Ndulini, S. F., Sithole, G. M., Mthembu, M. S. (2018). Investigation of nutrients and faecal coliforms removal in wastewater using a hydroponic system. *Physics and Chemistry of the Earth*. 106: 68–72. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.05.004>
- Neocleous, D., Savvas, D. (2016). NaCl accumulation and macronutrient uptake by a melon crop in a closed hydroponic system in relation to water uptake. *Agricultural Water Management*. 165: 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.11.013>
- Neumann, M., Schulze-Robbeke, R., Hagenau, C., Behringer, K. (1997). Comparison of methods for isolation of mycobacteria from water. *Applied and Environmental Microbiology*. 63(2): 547–552. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16535511>
- Niu, Z., Sunm, L., Sun, T., Li, Y., Wang, H. (2007). Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *Journal of Environmental Sciences*. 19(8): 961–967. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60158-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60158-2)
- Noutsopoulos, C., Koumaki, E., Sarantopoulos, V., Mamais, D. (2019). Analytical and mathematical assessment of emerging pollutants fate in a river system. *Journal of Hazardous Materials*, 364: 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.033>
- Oduntan, A. O., Olaleye. O. (2012). Effect of Plant Maturity on the Proximate Composition of Sesamum Radiatum Schum Leaves. *Journal of Food Studies*. 1(1): 69–76. <https://doi.org/10.5296/jfs.v1i1.1806>
- Ohu, J. O., Raghavan, G. S. v, Mckyes, E., Member, A., Asae, M., Abstract, A. (1985). Peatmoss Effect on the Physical and Hydraulic Characteristics of Compacted Soils. *Transactions of the ASAE*. 28(2): 420 - 424.
- Olguín, E.J., García-López, D.A., González-Portela, R.E., Sánchez-Galván, G. (2017) Year-round phytofiltration lagoon assessment using *Pistia stratiotes* within a pilot-plant scale biorefinery. *Science of The Total Environment*. 592: 326 – 333. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.067>

- Ordoñez-Placencia, T. S. 2012. Plan de negocios para la creación de una plantación de rosas en el cantón Cayambe de la provincia de Pichincha. [Pregrado en Ingeniería en Administración de Empresas] Universidad Técnica Particular de Loja. Quito, Ecuador.
- Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., y Gianquinto, G. (2013). Urban agriculture in the developing world: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 33(4): 695–720. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0143-z>
- Ortega-Arenas, L. D., Miranda-Aragón, D. A., y Sandoval-Villa, M. (2005). Densidad de huevos y ninfas de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (West.) en *Gerbera jamesonii* H. Bolus con diferentes regímenes de fertilización nitrogenada. *Agrociencia*. 40: 363–371.
- Ortega-Blu, R., Correa-Benguria, M., Olate-Muñoz, E. (2004). Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes en tres cultivares de *Lilium* spp. para flor de corte. *Agrociencia*. 40: 77–88.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., Manzo-Ramos, F. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*. 6(3): 339–346.
- Osorio Vega, Nelson Walter. (2007). Efectos benéficos de bacterias rizosféricas en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la absorción de nutrientes por las plantas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 60(1): 3621-3643.
- Ottoson, J., Norström, A., y Dalhammar, G. (2005). Removal of micro-organisms in a small-scale hydroponics wastewater treatment system. *Letters in Applied Microbiology*. 40(6): 443–447. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2005.01689.x>
- Oyama, N., Nair, J., Ho, G. E. (2005). Recycling of treated domestic effluent from an on-site wastewater treatment system for hydroponics. *Water Science and Technology*. 51(10): 211-219. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0369>
- Papadopoulos, I., Chimonidou, D., Savvides, S., y Polycarpou, P. (2015). *Optimization of Irrigation with Treated Wastewater on Flower*. https://www.researchgate.net/publication/268375431_Optimization_of_irrigation_with_Treated_Wastewater_on_flower_cultivations.
- Pares, J. y Basso, C. (2013). Efecto del cloruro de sodio sobre el crecimiento y estado nutricional de plantas de papaya. *Bioagro*. 5(2): 109 – 116.

- Pascual, M. P., Lorenzo, G. A., Gabriel, A. G. (2018). Vertical Farming Using Hydroponic System: Toward a Sustainable Onion Production in Nueva Ecija, Philippines. *Journal of ecology*. 8: 25–41. <https://doi.org/10.4236/oje.2018.81003>
- Patil, S. T., Kadam, U. S., Mane, M. S., Mahale, D. M., y Dhekale, J. S. (2020). Hydroponic Growth Media (Substrate): A Review. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*. 21(23): 106-113. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i2330307>
- Pearce, R. C., Li, Y., y Bush, L. P. (1999). Calcium and bicarbonate effects on the growth and nutrient uptake of burley tobacco seedlings: Float system. *Journal of Plant Nutrition*. 22(7): 1079–1090. <https://doi.org/10.1080/01904169909365697>
- Peasey, A., Blumenthal, U., Mara, D., Ruiz-Palacios, G. (2000). A Review of Policy and Standards for Wastewater Reuse in Agriculture: A Latin American Perspective. *Well Study*. 68(2): 1 - 72. <http://www.lboro.ac.uk/well/>
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J. J., Koukoulakis, P., y Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*. 97: 1233–1241. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.003>
- Peil, R. M., Glavez, J. L. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en Invernadero. *Revista Brasileira Agrociencia*. 11(1), 5–11.
- Peña-Álvarez, A., Castillo-Alanís, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 18(1): 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.003>
- Pescie, M. A., Borda, M. P., Ortiz, D. P., Landriscini, M. R., Lavado, R. S. (2018). Absorption, distribution and accumulation of nitrogen applied at different phenological stages in southern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* interspecific hybrid). *Scientia Horticulturae*. 230: 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.005>
- Picó, Y., Alvarez-Ruiz, R., Alfarhan, A. H., El-Sheikh, M. A., Alobaid, S. M., Barceló, D. (2019). Uptake and accumulation of emerging contaminants in soil and plant treated with wastewater under real-world environmental conditions in the Al Hayer area (Saudi Arabia). *Science of The Total Environment*. 652: 562 – 572. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.224>
- Poulton, J. L., Bryla, D., Koide, R., y Stephenson, A. G. (2002). Mycorrhizal infection and high soil phosphorus improve vegetative growth and the female and male functions in tomato. *New Phytologist*. 154: 255–265. www.newphytologist.com

- Pramanik, M. H. R., Nagai, M., Asao, T., Matsuiyo, S. (2000). Effects of Temperature and Photoperiod on phytotoxic root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) in Hydroponic culture. *Journal of Chemical Ecology*. 26(8): 1953–1967. <https://doi.org/10.1023/A:1005509110317>
- Prieto-Méndez, J., González-Ramírez, C., Román-Gutiérrez, A. D., Prieto-García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10 (1): 29 – 44.
- Proietti, S., Scariot, V., de Pascale, S., Paradiso, R. (2022). Flowering Mechanisms and Environmental Stimuli for Flower Transition: Bases for Production Scheduling in Greenhouse Floriculture. *Plants*. 11(3): 1 - 20. <https://doi.org/10.3390/plants11030432>
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*. 44(1): 40–51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
- Qin, L., Qin, Yinghua J., Duan, P., He, H. 2016. Field-based experimental water footprint study of sunflower growth in a semi-arid region of China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96: 3266–3273. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7726>
- Quintero, J. M., Fournier, J. R., y Benlloch, M. (1998). K⁺ status and ABA affect both exudation rate and hydraulic conductivity in sunflower roots. *Physiologia Plantarum*. 102: 279–284.
- Raber, J. C., Elzinga, S., Kaplan, C. (2015). Understanding dabs: contamination concerns of cannabis concentrates and cannabinoid transfer during the act of dabbing. *Journal of Toxicological Sciences*. 40(6): 797 – 803. <https://doi.org/10.2131/jts.40.797>
- Ramírez, H. J. J., Avitia, R. J. A. (2017). Floricultura Mexicana en el siglo XXI: su desempeño en los mercados internacionales. *Revista de Economía*. 34(88): 99 – 122.
- Ramírez-Arias, J. A., Hernández-Ibarra, U., Pineda-Pineda, J., Fitz-Rodríguez, E. (2018). Horizontal and vertical hydroponic systems for strawberry production at high densities. *Acta Hortícola*. 1227: 331 – 337. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.41>
- Rana, S., Bag, S. K., Golder, D., Mukherjee Roy, S., Pradhan, C., Jana, B. B. (2011). Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. *Ecological Engineering*. 37:981 – 988. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.01.009>
- Reyes-Montero, J. A., Gutiérrez-Espinosa, J. A., García-Villanueva, E., Carrillo-Salazar, J. A., E Aguilar-Luna, J. M., Gaytán-Acuña, E. A. (2009). Desarrollo y calidad de inflorescencias de *Antirrhinum majus* L. cultivados en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15(2): 57–60.

- Rodríguez-Pérez, L. (2006). Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana*. 24(1): 28–37.
- Rojas-Velázquez, A. N. (2010). *Cultivo hidropónico y manejo nutrimental de la producción anual de Anthirrhinum majus L. en condiciones de invernadero* [Programa de Doctorado en Ciencias]. Colegio de Postgraduados, México.
- Romeo, D., Veà, E. B., Thomsen, M. (2018). Environmental Impacts of Urban Hydroponics in Europe: A Case Study in Lyon. *Procedia CIRP*. 69: 540–545. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.048>
- Roosta, Hamid R., Rezaei, I. (2014). Effect of Nutrient Solution pH on the Vegetative and Reproductive Growth and Physiological Characteristics of Rose Cv. 'Grand Gala ' in Hydroponic System. *Journal of Plant Nutrition*. 37: 2179–2194. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920377>
- Rumi, T., Yuri, S., Miki, M., Shuhei, N., Ryota, S., Kei, N. (2012). Plant uptake of pharmaceutical chemicals detected in recycled organic manure and reclaimed wastewater. *Journal Agricultural Food Chemistry*. 60: 10203–10211. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33311-8_5
- Sadzawka, A., Grez, R., Carrasco, M. A., Mora, M. L. Métodos de análisis de tejidos vegetales. http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/4_jornada/Manual_chilenos_tejido_vegetal.pdf [Con acceso el 10 de mayo de 2019]
- Salgado-Méndez, S. O. (2015). *Riego con Agua Residual Tratada en el Valle de Maneadero B.C.: Efecto de la salinidad y sodicidad del suelo* [Programa de Maestría en Ciencias]. Univesidad Autónoma de Baja California, México.
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R., Cesco, S. (2019). Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1 – 17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- Sanjuan-Delmás, D., Josa, A., Muñoz, P., Gassó, S., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2020). Applying nutrient dynamics to adjust the nutrient-water balance in hydroponic crops. A case study with open hydroponic tomato crops from Barcelona. *Scientia Horticulturae*. 261: 1 - 10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108908>
- Santamaria, P., Elia, A., Gonnella, M. (1997). Changes in nitrate accumulation and growth of endive plants during light period as affected by nitrogen level and form. *Journal of Plant Nutrition*. 20(10): 1255–1266. <https://doi.org/10.1080/01904169709365333>

- Santos-Júnior, J. A., Gheyi, H. R., Filho, D. H. G., Soares, F. A. L., Dias, N. D. S. (2013). Efficiency of Water use in Sunflower grown in Hydroponic System under Saline Stress. *Engenharia Agrícola*. 33(4): 718–729.
- Savvas, D., Gizas, G. (2002). Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Sciencia Horticola*. 96: 267–280. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00054-7)
- Schneider, A. A., Miller, J., y Berglund, D. (1998). Stages of Sunflower Development. *NDSU Extension Service*.
- Scoggins, H. L., Mills, H. A. (1998). Poinsettia growth, tissue nutrient concentration, and nutrient uptake as influenced by nitrogen form and stage of growth. *Journal of Plant Nutrition*. 21(1): 191–198. <https://doi.org/10.1080/01904169809365393>
- Sepehr, M. N., Kazemian, H., Ghahramani, E., Amrane, A., Sivasankar, V., Zarrabi, M. (2014). Defluoridation of water via Light Weight Expanded Clay Aggregate (LECA): Adsorbent characterization, competing ions, chemical regeneration, equilibrium and kinetic modeling. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 45(4): 1821–1834. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.02.009>
- Semiz, G., Ünlükara, A., Yurtseven, E., Suarez, D., Telci, İ. 2012. Salinity Impact on Yield, Water Use, Mineral and Essential Oil Content of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Agricultural Sciences*. 18(3):177-186. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001206
- Shahbandeh, M. (2018). *Hydroponics: forecasted market value worldwide 2016-2025* | Statista. <https://www.statista.com/statistics/879946/global-hydroponics-market-value/>
- Shang, H., Deitzer, G. F., Lea-Cox, J. D. (2003). Differential temperature (DIF) effects on the growth, morphology and flowering of *Antirrhinum majus* L. (snapdragon) cultivars. *Acta Horticola*. 624: 177–183.
- Shao, Y. D., Zhang, D. J., Hu, X. C., Wu, Q. S., Jiang, C. J., Xia, T. J., Gao, X. B., Kuča, K. (2018). Mycorrhiza-induced changes in root growth and nutrient absorption of tea plants. *Plant, Soil and Environment*. 64(6): 283–289. <https://doi.org/10.17221/126/2018-PSE>
- Sharifnia, S., Khadivi, M. A., Shojaeimehr, T., Shavisi, Y. (2016). Characterization, isotherm and kinetic studies for ammonium ion adsorption by light expanded clay aggregate (LECA). *Journal of Saudi Chemical Society*. 20: S342–S351. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.12.003>
- Sheikh, B., Jaques, R. S., Cort, R. P. (1987). Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of raw-eaten food crops: A five-year field study. *Desalination*. 67: 245–254.

- Shenker, M., Harush, D., Ben-Ari, J., Chefetz, B. (2011). Uptake of carbamazepine by cucumber plants - A case study related to irrigation with reclaimed wastewater. *Chemosphere*. 82: 905–910. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.052>
- Shima, K., Kageyama, Y., Konishi, K. (1995). Effect of magnesium levels in culture solution on growth and cut flower quality of Chrysanthemum. *Engei Gakkai Zasshi*. 64(1): 177–184. <https://doi.org/10.2503/jjshs.64.177>
- Şirin, U. (2011). Effects of different nutrient solution formulations on yield and cut flower quality of gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture system. *African Journal of Agricultural Research*. 6(21): 4910–4919. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.578>
- Snow, A. M. y Ghaly, A. E. (2008). Use of barley for the purification of aquaculture wastewater in a hydroponics system. *American Journal of Environmental Sciences*. 4(2): 89–102. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2008.89.102>
- Son, J. E., Kim, H. J., y Ahn, T. I. (2016). Hydroponic Systems. *Plant Factory*. 213–221. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00017-2>
- Souza, R., Paz, V., Gonçalves, K., Soares, T., Neto, A., y Gheyi, H. (2018). Treated Domestic Effluents: An Option for Cultivation of Ornamental Sunflower in a Hydroponic System. *Journal of Experimental Agriculture International*. 24(6): 1–11. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/42785>
- Stanhill, G. (1980). The energy cost of protected cropping: A comparison of six systems of tomato production. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 25(2): 145–154. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(80\)90055-4](https://doi.org/10.1016/0021-8634(80)90055-4)
- Suárez-Cáceres, G.P., Perez-Urrestarazu, L., Avilés, M., Borrero, C., Lobillo Eguívar, J.R., Fernández-Cabanás, V.M. Susceptibility to water-borne plant diseases of hydroponic vs. aquaponics systems. *Aquaculture*. 544: 1 – 8. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737093>
- Sullivan, N., Elzinga, S., Raber, J. C. (2013). Determination of Pesticide Residues in Cannabis Smoke. *Journal of Toxicology*. 2013: 1 - 6. <https://doi.org/10.1155/2013/378168>
- Taiz, L., Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (3th ed.). Sinauer Associates, Inc. [https://doi.org/10.1016/0307-4412\(76\)90121-7](https://doi.org/10.1016/0307-4412(76)90121-7)
- The United Nations World Water Development. (2017). *Wastewater The Untapped Resource*.
- Theurl, M. C. Haberl, H., Erb, K. H., Lindenthal, T. (2014). Contrasted greenhouse gas emissions from local versus long-range tomato production. *Agronomy for Sustainable Development*. 34: 593–602. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0171-8>

- Tolman, D. A., Niemiera, A. X., Wright, R. D. (1990). Influence of Plant Age on Nutrient Absorption for Marigold Seedlings. *Hortscience*. 25(12):1612-1613.
- Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V. H., Martínez-González, E. G. (2021). Trajectory of sunflower innovation system in Mexico, 1965-2018. *Historia Agraria*. 83: 191–224. <https://doi.org/10.26882/HISTAGRAR.083E06T>
- Toze, S. (2006). Reuse of effluent water - Benefits and risks. *Agriculture Water Management*. 80: 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.010>
- Tse Leow, A. C., y Khye Tan, T. K. (2007). Versatile Hydroponic Technology for Commercial Orchid Cultivation. *Acta Horticola*. 742: 75–84.
- Udmale, P., Pal, I., Szabo, S., Pramanik, M., Large, A. (2020). Global food security in the context of COVID-19: A scenario-based exploratory analysis. *Progress in Disaster Science*. 7: 1 - 7. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100120>
- Uhart, S. A., Echeverría, H. E., Frugone, M. L. (s.f). Requerimientos Nutricionales. *Semillas híbridas*. http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh_0032/0901b8038003274e.pdf?filepath=ar%2Fpdfs%2Fn
- United States Department of Agriculture. (2015). *Introduction to Organic Practices*. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/OrganicPracticesFactsheet.pdf>
- United States Environmental Protection Agency. (2012). *Guidelines for Water Reuse*. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>
- Vaillant, N., Monnet, F., Sallanon, H., Coudret, A., Hitmi, A. (2013). Use of Commercial Plant Species in a Hydroponic System to Treat Domestic Wastewaters. *Journal of Environment Quality*. 33(2): 695 - 702. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.6950>
- Valles-Aragón, M.C., Ojeda-Barrios, D.L., Guerrero-Prieto, V.M. Prieto-Amparan, J.A., Sánchez-Chávez, E. 2017. Calidad del agua para riego en una zona nogalera gel Estado de Chihuahua. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 33 (1): 85-97. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.08>
- Van Assche, F., Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell & Environment*. 13(3): 195-206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x>
- Vaux, H., Crook, J., Jaques, R. (2005). Monterey County Water Recycling Projects: A Case Study. In *Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an Iranian-American Workshop*. 187–280 pp. <https://doi.org/10.17226/11241>

- Velandia-Rubiano, I. L., López-Romero, K. J. (2014). *Evaluación de la huella hídrica para la producción de flores astromelias (Alstroemeria sp.) en un predio del municipio de Facatativá - Cundinamarca* [Pregrado en Ingeniería Química]. Universidad De La Salle Bogotá, Colombia.
- Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E., Inzunza-Ibarra, M., Ulery, A. L. (2006). Absorción y traslocación de Sodio y Cloro en plantas de Chile fertilizadas con Nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Revista Fito técnica Mexicana*. 29(1): 79–88.
- Villalobos, I., Villalobos, M. (2018). *Análisis del impacto ambiental de los floricultivos en Cundinamarca: Una perspectiva económica*. 1–40.
- Vincent, J., Leggett, J. E., Egli, D. B. (1979). Cation accumulation by Glicine Max. (L) Merr. as related to maturity stages. *The Soil–Root Interface*, 440. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-325550-1.50071-9>
- Vinci, G., Rapa, M. (2019). Hydroponic cultivation: life cycle assessment of substrate choice. *British Food Journal*, 121(8), 1801–1812. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2019-0112>
- Voulvoulis, N. (2018). ScienceDirect Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2: 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>
- Waechter-Kristesen, B., Caspersen, S., Adalsteinsson, S., Sundin, P., Jensén, P. 1999. Organic compounds and microorganism in closed, hydroponic culture: occurrence and effects on plant growth and mineral nutrition. *Acta Horticola*. 47: 197 – 2004.
- Wahome, P. K., Oseni, T. O., Masarirambi, M. T., Shongwe, V. D. (2011). Effects of Different Hydroponics Systems and Growing Media on the Vegetative Growth, Yield and Cut Flower Quality of Gypsophila (*Gypsophila paniculata* L.). *World Journal of Agricultural Sciences*. 7(6): 692–698.
- Weber, K., Burow, M. (2018). Nitrogen – essential macronutrient and signal controlling flowering time. *Physiologia Plantarum*, 162(2), 251–260. <https://doi.org/10.1111/ppl.12664>
- Welch, R.M y Shuman, L. (1995) Micronutrient Nutrition of Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 14 (1): 49-82. <http://doi.org/10.1080/07352689509701922>
- Wilson, R., Fujioka, R. (1995). Development of a method to selectively isolate pathogenic Leptospira from environmental samples. *Water Science and Technology*. 31(5–6): 275–282. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00280-Z](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00280-Z)
- Winker, M., Fischer, M., Bliedung, A., Bürgow, G., Germer, J., Mohr, M., Nink, A., Schmitt, B., Wieland, A., Dockhorn, T. (2020). Water reuse in hydroponic systems: A realistic future scenario for Germany?

- Facts and evidence gained during a transdisciplinary research project. *Journal of Water Reuse and Desalination*.10(4): 363–379. <https://doi.org/10.2166/wrd.2020.020>
- Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, J., Hernández, F., Torricelli, R. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? *Informes sobre temas hídricos*. <http://www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf>
- Worku, A., Tefera, N., Kloos, H., Benor, S. (2018). Bioremediation of brewery wastewater using hydroponics planted with vetiver grass in Addis Ababa, Ethiopia. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(39): 1 - 12. <https://doi.org/10.1186/s40643-018-0225-5>
- World Health Organization. (2006). WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Vol. II. https://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/wastewater-guidelines/en/
- Yang, L., Giannis, A., Chang, V. W. C., Liu, B., Zhang, J., Wang, J. Y. (2015). Application of hydroponic systems for the treatment of source-separated human urine. *Ecological Engineering*. 81: 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.013>
- Yang, T., Kim, H. J. (2020). Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato, basil, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *Journal of Cleaner Production*. 274: 1 - 15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619>
- Yang, Z., Zheng, S., Chen, J., Sun, M. (2008). Purification of nitrate-rich agricultural runoff by a hydroponic system. *Bioresource Technology*. 99(17): 8049–8053. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.040>
- Yu, J. Q., Matsui, Y. (2012). Extraction and identification of phytotoxic substances accumulated in nutrient solution for the hydroponic culture of tomato Extraction and Identification of Phytotoxic Substances Accumulated in Nutrient Solution for the H. *Soil Science and Plant Nutrition*. 39(4): 691 - 700. <https://doi.org/10.1080/00380768.1993.10419186>
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Plant Science*. 6(2): 66 – 71. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01838-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01838-0)
- Zieslin, N. Snir, P. (1989). Responses of rose plants cultivar ‘Sonia’ and Rosa indica major to changes in pH and aeration of the root environment in hydroponic culture. *Scientia Horticola*. 37(4): 339–349. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(89\)90145-3](https://doi.org/10.1016/0304-4238(89)90145-3)

ANEXOS.

ANEXO 1. Can Reclaimed Water Be Used for Sustainable Food Production in Aquaponics?

Liliana Cifuentes-Torres, Gabriel Correa-Reyes and Leopoldo G. Mendoza-Espinosa

Cifuentes-Torres, L., Correa-Reyes, G., Mendoza-Espinosa, L. 2021. Can Reclaimed Water Be Used for Sustainable Food Production in Aquaponics? *Frontiers Plant Science*. 12: 1 – 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984>

Abstract

Aquaculture is a technology used for the production of animal protein but produces a great amount of waste that decreases productivity and adversely affects the environment. Sedimentation and filtration have been used for the treatment of the suspended fraction of these wastes although dissolved substances like nutrients can be an asset. Therefore, the management of aquaculture waste remains a challenge. Aquaponics is a technology that can eliminate dissolved N and P from aquaculture systems as they serve as nutrients for plants, which are absorbed through the roots and are incorporated into their tissues. Several reports and studies exist on the benefits of aquaponic systems for the combined production of plants and aquatic organisms and its advantages in terms of economics and environmental protection. The great majority of the studies use the wastewater from the aquatic production tanks as a source of nutrients for plants production. However, domestic or municipal wastewater is a resource that has been used extensively in other production systems such as conventional agriculture and aquaculture, yet its potential as a source of water for aquaponics has not been established. The current analysis hypothesizes that reclaimed water can be used for aquaponics. Despite the extensive use of reclaimed water in agriculture and aquaculture and the low risk to human health when properly managed, there are no academic studies that have tackled this issue. In order to overcome the generalized mistrust of the public in consuming crops irrigated with reclaimed water or fish growing in reclaimed water, it is recommended that only ornamental fish and plants would be cultivated by this method. There is an urgent need for studies to verify the safety and advantages of such cultivation technique. Finally, it is necessary to establish guidelines for the responsible use of reclaimed water in aquaponics.

Introduction

One of the challenges that science currently faces is the optimization of traditional production systems in ecological, economic, and social terms. The production of food in a sustainable and safe manner requires the recycling and improvement of ancient techniques like hydroponics which, since Babylonia times, already produced quality crops and provided urban landscaping (González-Carmona and Torres-Valladares, 2014). Currently, hydroponics is used as a technique that facilitates the growth of crops in cities, thanks to the implementation of urban farms and vertical gardens (Al-Chalabi, 2015). In these places another technique for food production has been implemented, in which in a synergetic way, hydroponics is integrated with waste generated by aquatic organisms in an aquatic recirculation system (Goddek et al., 2015). This type of production system is known as aquaponics and takes advantage of the symbiotic relationship between aquatic organisms, plants and bacteria (Rakocy, 2012). In aquaponics, two products are obtained that can be either edible or of economic value and that can be commercialized. Therefore, the combination of cultivation systems for fishes and aquatic plants such as duckweed and water hyacinths is not considered aquaponics for the present analysis.

Several studies have highlighted the potential of aquaponic systems (Diver, 2006; Endut et al., 2011; Rakocy, 2012). In all of them, aquaponics has been used as a treatment system for wastewater from aquatic systems. However, there are no studies in which reclaimed water has been used in such systems. The nutritional potential of reclaimed water has been identified in many studies in developed countries (Bixio et al., 2008), and public policy regarding the use of this type of water generally requires advanced treatment and disinfection (United States Environmental Protection Agency, 2012). In developing countries, the treatment of wastewater is not common. It has been estimated that approximately 80% of the wastewater generated worldwide is discharged without proper treatment (Winpenny et al., 2013). Regardless of this, the FAO has promoted the concept of integrated farming in which all available resources, both agricultural and livestock, are used in a sustainable way, contributing to increase the quality of life of farmers and improving the natural environment. Some of such practices established by the FAO is the recycling of nutrients from livestock in fish cultivation such as tilapia. Therefore, it can be asserted that potentially, reclaimed water can be used after an adequate treatment for the cultivation of plants and fish, therefore, aquaponics. In the present analysis, wastewater is referred to as crude wastewater that has not received any type of treatment, while reclaimed water is wastewater that has received some sort of treatment, usually secondary treatment. Taking this into account, our hypothesis establishes that it is possible to integrate in a planned and responsible way the use of reclaimed water as a

source of nutrients in aquaponics systems, reducing the need to add synthetic nutrients to the system, thus, making the production more environmentally friendly. This last issue is important from a commercial point of view due to the fact that organic products usually have a higher value than non-organic ones, that results in higher income for the producer, and a shorter return in investment. The present article will analyze traditional aquaponics and highlight the potential for the use of reclaimed water in aquaponics and the challenges that lay ahead.

Traditional aquaponics

Aquaponic systems consist of a unit that cultivates plants without soil and another with a tank cultivating fish. The excreta from the fish are used as nutrients by the plants (Maucieri et al., 2018; Yep and Zheng, 2019). This type of production system was called integrated system (Rakocy, 2012), and has its origin in sustainable agriculture, that has as its goal to achieve the production of plants and livestock by using efficiently the resources, without damaging the environment by integrating the natural cycles in production systems to increase the quality of life of farmers and the society as a whole (The Food Agriculture Conservation and Trade Act of 1990, 1990). Therefore, aquaponics can be considered a sustainable agricultural system. Some of the advantages of aquaponics systems are the efficient use of water (95–99%), the lower need for the addition of synthetic fertilizers (<50%), the elimination of the need of agrochemicals for pests and diseases control, the non dependence to soil, the simultaneous production of plants and aquatic organisms and the low discharge of waste to the environment (Al-Fedh et al., 2008; Lampreia, 2016; König et al., 2018; Maucieri et al., 2018).

Historically, the species of fishes that have been commonly used in aquaponics are, in order of its frequency of use: tilapia (*Oreochromis niloticus*), catfish (*Clarias gariepinus*), carp (*Cyprinus carpio*), trout (*Oncorhynchus mykiss*), and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) (Rakocy, 2012; Love et al., 2014a). Ru et al. (2017) highlights that due to its high tolerance to suspended solids, levels of nitrite above 44.67 mg L⁻¹ and low concentrations of oxygen, *O. niloticus* is the most common species cultivated in commercial systems. With respect to the hydroponic component, the most common type of crops cultivated are leafy vegetables due to their ability to grow at high N concentrations, their shorter growth period, their relatively low nutrients requirements and their high demand (Bailey and Ferrarezi, 2017). Additionally, Love et al. (2015) found that the most common species of crops in aquaponic systems are basil (*Ocimum basilicum*), tomato (*Solanum lycopersicum*), lettuce (*Lactuca sativa*), cabbage (*Brassica oleracea*), beetroot (*Beta vulgaris*), pak choi (*Brassica campestris*), peppers (*Capsicum annuum*), and cucumber (*Cucumis sativus*). Exotic species of plants such as *Salicornia persica* have also been cultivated in aquaponic systems using brackish water. This has opened new windows into the possibility of using aquaponics as an option for the cultivation of marine organisms and plants tolerant to salt. Moreover, *S. persica* has a high

concentration of lipids, omega 3 and minerals, making it attractive for cosmopolitan markets such as the European (Turcios and Papenbrock, 2014).

In a study by Hu et al. (2015) the dynamics of the nitrogen compounds in aquaponics systems with tomato (*Lycopersicon esculentum*) – pak choi (*Brassica campestris* L. subsp. *Chinensis*) – tilapia (*Oreochromis niloticus*) was tested. Such study demonstrated that the assimilation of N varies with the type of crop, reaching 41.3% for tomato and 34.4% for pak choi. Such a difference is explained by the larger surface area of the roots of the tomato plant, that increases the amount of biofilm of nitrification bacteria, responsible for the oxidation of ammonia (NH_4^+) to nitrates (NO_3^-) (Endut et al., 2016). A lower concentration of ammonia was reached in water from tomato than from pak choi. The importance of the surface area of the roots for the removal of nutrients was mentioned by Endut et al. (2016). They used an aquaponics system with water spinach (*Ipomoea aquatica*) – green mustard (*Brassica juncea*) – catfish (*C. gariepinus*) and found that the removal of N compounds and orthophosphates were very similar but was more efficient for water spinach than for green mustard. Spinach had roots with larger surface area than green mustard and nutrients removal was 88.76 vs. 78.21% for ammonia, 92.51 vs. 86.67% for nitrite, 90.04 vs. 86.87% for nitrate, and 88.99 vs. 78.72% for orthophosphates. Henfi et al. (2015) evaluated the decrease of nutrients in aquaponic systems of *Cherax quadricarinatus* – *I. aquatica*. The rate of survival of *C. quadricarinatus* was 90% while the removal of nutrients was 84.6, 34.8, and 44.4% for NH_3 , NO_3^- and orthophosphates.

Some factors that affect the dynamics of N in aquaponic systems are pH, dissolved oxygen, the hydraulic loading rate and the C:N ratio. The pH affects all organisms that interact in the aquaponic system. In the case of nitrification bacteria, it has been demonstrated that their activity decreases when pH is below 6.4 and greater than 9.0, and NUE (Nitrogen Use Efficiency) is 50.9% at pH 6.4 (Ruiz et al., 2003; Zou et al., 2016). This value is relatively high as it has been demonstrated that one of the problems with aquaponics is its low NUE (40%) (Hu et al., 2012; Wongkiew et al., 2017a). Dissolved oxygen (DO) also has a direct effect on nitrification bacteria. In the case of ammonia oxidizing bacteria (AOB), their transformation efficiency decreases at DO levels below 4.0 mg L⁻¹ while at less than 2 mg L⁻¹ the activity of nitrite oxidizing bacteria (NOB) is greatly reduced. Therefore, levels between 5 and 6 mg L⁻¹ are recommended, which is ideal for the majority aquatic organisms (Kim et al., 2005; Rakocy, 2012). The hydraulic loading rate (HRL, m³ day⁻¹), which is the liquid flowrate per unit of cultivation area, is a variable that affects the retention time of nutrients, sediments and microorganisms (Li et al., 2009). A low HRL can cause a decrease of OD, while a high HRL can reduce the retention time of water, that can cause a decrease in the assimilation of nutrients by the crops' roots and the washing of the bacterial biofilm thus, the deterioration of water quality (Endut et al., 2010). Finally, the C:N ratio is related with the population of nitrification bacteria

and heterotrophic bacteria that coexist within the system. A high C:N ratio increases the growth rates of heterotrophic bacteria and decreases the level of nitrification bacteria (Ebeling et al., 2006). Also, a high population of heterotrophic bacteria decreases the concentration of DO and causes an inefficient transformation of ammonia to nitrate which can cause problems to the survival of fishes that can be exposed to toxic levels of NAT and nitrites (Wongkiew et al., 2017b).

The majority of the studies have demonstrated successful results in terms of nutrients recycling and assimilation. Buzby and Lin (2014) undertook a study in which the hydroponic element was isolated from the aquatic cultivation pond in order to evaluate nutrients uptake independently. The cultivation tanks with *L. sativa* and *Tropaeolum majus* were spiked with ammonia and water samples were taken every hour for 4 h. It was found that both types of plants were effective in reducing ammonia (81% with *L. sativa* and 89% with *T. majus*).

A study by Buzby and Lin (2014) demonstrated that it is unclear the relation between the amount of nutrients added to the aquatic culture and the removal efficiency by the hydroponic system; aspects like the species used for cultivation, the type of system, cultivation density and others have to be taken into consideration. Rakocy (2012), Al-Fedh et al. (2008), and Endut et al. (2010) studied this relation and obtained values between 14 and 42 g food m⁻² to 60–100 g food m⁻². Additionally, fish cultivation commonly requires the addition of synthetic fertilizers because normal fish food generally lacks nutrients such as K, Ca, and Fe (Graber and Junge, 2009).

Delaide et al. (2016) studied the effect of supplementing water with high-purity mineral salts for fishes in an aquaponics system to simulate a commercial hydroponic solution. They used three types of water: commercial hydroponic solution (HP), water for aquaponics non-supplemented (AP) and supplemented water for aquaponics (CAP). The study consisted in evaluating the nutrient concentration of leaves and the weight of sprouts and roots. Results showed that sprouts had a significantly higher weight with CAP compared to HP and AP. However, the weights obtained in HP and AP suggest that AP can be an alternative for conventional hydroponic systems. Results for roots showed that AP and CAP were larger than HP. The authors attributed this to the fact that water for the fish cultivation contained components like organic matter, rhizobacteria and fungi that stimulated the growth of roots and, in return, increased nutrients intake. Other substances in SRA that promote the growth of sprouts and roots are humic acids and phenols (Spaccini et al., 2009; Hambly et al., 2015).

In this respect, the addition of probiotics to the food for fishes in cultivation has been evaluated and it was found that the addition of microorganisms like *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus subtilis*, *Aspergillus oryzae*, *Rhodopseudomonas*, *Actinomyces*, and *Nitrobacter* have a significant effect in the feed conversion ratio (FCR), an increase in the

production of catfish and the efficiency of organic matter removal in aquaponic systems (Zhou and Wang, 2014; Santoso and Sunadji, 2020). This is caused by the ability of probiotics to facilitate the absorption of nutrients in the digestive system of fishes by increasing the production of digestive enzymes like proteasas. An effect on the immune system of fishes has also been observed, due to the fact that the presence of beneficial bacteria suppresses the population of pathogenic microorganisms. All combine to a better growth of aquatic species in cultivation (Zhou and Wang, 2014).

Zahidah et al. (2018) studied the use of the Red Water System (RWS), a system that uses probiotics from the fermentation of *Lactobacillus casei* and *Saccharomyces cerevisiae*, for the cultivation of catfish. This technique uses probiotics for the decomposition of organic matter and the fact that probiotic microorganisms can reduce ammonia by oxidation in cultivation ponds. In aquaponic systems, the benefit is evident as the decrease of ammonia that cannot be undertaken by plants can be undertaken by these microorganisms. In an experiment by Zahidah et al. (2018) the concentration of ammonia decreased when the microbial activity in the RWS started, which allowed for the transformation of ammonia into nitrates. It was demonstrated that probiotic microorganisms are capable of degrading residual organic matter from food and feces, thus preventing its accumulation in aquaponic systems and improving the water quality of the culture. Love et al. (2014b) evaluated the worldwide use of ornamental fishes and plants in aquaponic systems. They found that 48% of the cultivation systems had, as a primary organism, an ornamental fish like koi, goldfish or tropical fish. In contrast, only 20% of plants used in aquaponics were ornamental plants. A study by Mchunu et al. (2018) found that in South Africa, in 45 aquaponic systems located in main cities, 25% cultivated ornamental plants and 16% ornamental fish.

Aquaponic systems could be implemented in urban areas, effectively taking part in what is known as urban agriculture. The definition of urban agriculture includes the production, process and merchandising of foods within urban or peri-urban areas, through techniques like horticulture and aquaculture, optimizing the use of resources and improving the nutritional value of the products and creating jobs (Hernández, 2006; Ribeiro et al., 2015). In most cases, urban agriculture is undertaken in small scale systems and dispersed throughout the urban area. This type of agriculture has grown in popularity to supply food to a growing population established in urban settlements (Lampreia, 2016). This is key to provide a stable access to affordable food and avoid the so called nutritional desserts, that lead to nutritional and public health problems (Tomlinson, 2017). Thus, studies on urban aquaponics have grown in the last decade, and particularly after 2019, according to Wirza and Nazir (2020). Such studies have dealt with the social acceptance of urban aquaponics and its role in urban planification. Pollard et al. (2017) studied focal groups with experience in the production of urban foods, food distribution and business administration, by means of interviews and their opinion

on urban aquaponics in the city of Adelaide (Australia). The majority of those interviewed were not familiar with aquaponics and there was a persistent negative opinion about the technology. This was attributed to the lack of knowledge and due overall fear to a more competitive new production technology. To solve this, the authors recommend to plan and create public policies to promote and facilitate the concept of aquaponics to the market, guaranteeing longterm profitability.

Having said that, aquaponics does present challenges. Rakocy (2012), Goddek et al. (2015), and Greenfeld et al. (2019) evaluated the profitability of aquaponic systems and concluded that its feasibility is complex due to several factors like the type of system used, the type of organisms in cultivation, the location and the size of the production. Likewise, Vermeulen and Kamstra (2013) found that aquaponics appears to be a production system less efficient than sustainable practices in organic agriculture, because factors such the recirculation of nutrients, energy efficiency and the optimization of land tend to be more expensive than traditional methods. However, the optimum ratio between the cultivated organisms and the development of less expensive technological systems for water treatment makes the technology more profitable (Goddek et al., 2015; Greenfeld et al., 2019).

In relation to public policies on urban aquaponics, the European Union has begun to plan the integration of policies and strategies of areas such as agriculture, fisheries, food production and environment and recognize the importance of aquaponics in each of these fields. The goal of these policies are to promote innovation, increase competitiveness, increase sustainability, increase the quality of the resources, optimize the use of land, contribute toward the wellness of organisms being cultivated and achieve economies with lower carbon footprint. The EU program is designed to provide financial backing for research projects and commercial assistance to people and businesses interested in establishing a business in aquaponics (Hoevenaars et al., 2018). It is clear, thus, that aquaponic systems are an alternative for the production of food and the improvement of water quality. The symbiotic relations found in such systems, promotes the growth of bacterial communities and fungi that favors the growth of roots and increases nutrients assimilation. However, to date the optimum relationship between aquatic organisms and plants is not clear, and factors such as species, age and feeding habits influence the system so a “standard” value for its success is not yet possible. More investigations on these factors and the interaction of these factors is needed.

Use of wastewater in Agriculture and Hydroponics

Taking into consideration that approximately 57% of the energy used in agriculture is used for the production of nitrogen fertilizers (Yep and Zheng, 2019), and that it has been calculated that the reserves of phosphate will decrease down to half in the following 60 years, meaning that the cost of extraction will increase significantly (Goddek et al., 2015), it is of great importance to have new sources of nutrients. Reclaimed water could be such a source. The increase in human population

has generated an increase in the demand of food and greater pressure on natural resources such as water. This has led to countries such as Australia, United States of America, China, Israel, and Spain to include in their water management policies the reuse of reclaimed water for the irrigation of crops (Pescod, 1992). The success in its implementation with the production of fruits and vegetables has modified the water-food nexus in countries with arid and semiarid climate, and has established the reuse of reclaimed water as a viable water management option (Elgallal et al., 2016). Many studies have been published on the use of wastewater for agriculture (Gupta et al., 2010; Licciardello et al., 2018; Salgot and Folch, 2018) while its use in hydroponics has been demonstrated in lab-scale and pilot-scale experiments but examples of full scale commercial systems are very limited (Cifuentes-Torres et al., 2020).

Use of wastewater in Aquaculture

Animal protein and other products of aquatic origin can be supplied through aquaculture; this sector has reported an annual growth of 5.3% from 2001 to 2018 (Food and Agriculture Organization of the United, 2018) yet it has been estimated that approximately 75% of the nutrients are not used by the cultivated organisms, which results in environmental pollution and other aquaculture systems downstream (Liu et al., 2021). The use of reclaimed water can be a sustainable and dependable alternative for aquaculture. For example, reclaimed water can reduce the geographical dependency of aquaculture to freshwater, so that it can be located anywhere near a city with wastewater treatment plants. This would result in a decrease in production costs and the procurement of fresh produce of high protein content to the benefit of local communities (Zaibel et al., 2020).

The first experiences with the cultivation of fish using wastewater were in Germany at the end of the XIX century, in which trout, carp and salmon were cultivated in tanks fed with sewage-field drains (Prein, 1990). In China and India wastewater with high levels of nutrients, are traditionally considered an input for aquaculture because they promote the growth of plankton and other microorganisms that are food for fishes. In India, for example, the yield reached in ponds with reclaimed water cultivating tilapia and carp was 5 t ha⁻¹, which represents 16% of the total sales of carp and tilapia in the municipality of Calcuta (Adhikari et al., 2009). Vo and Edwards (2005) reported a production of 7 t ha⁻¹ of Tilapia Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), Tilapia nilotica (*O. niloticus*), two Indian major carps (rohu, *Labeo rohita* and mrigal, *Cirrhinus mrigala*) and Chinese silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in 330 ha of ponds cultivating fishes in periurban areas in Vietnam.

Nowadays, there are numerous studies dealing with the risks of using reclaimed water for crops irrigation or aquatic organisms and take into account the high probability of microbial pollution, toxic metals accumulation, and emerging contaminants. Terechovs et al. (2019) evaluated the effect

of 49 emerging contaminants in reclaimed water in fishes of the species *Bidyanus bidyanus* in the semi-rural region of Shoalhaven in Australia. They detected 20 emerging contaminants in the reclaimed water and 23 and 19 emerging contaminants in flesh and liver of the fishes, respectively. However, the concentration of all contaminants was below the limit established by Australian authorities, with the exception of benzotriazol with a concentration of 675 ng L⁻¹ in reclaimed water, well above the 7 ng L⁻¹ established by the Australian legislation.

The use of reclaimed water in aquaculture interconnected with the production of crops was evaluated in Bangladesh by a company called “Agricuatics,” in the city of Mirzapur, with a population of 3,000–4,000 habitants and a wastewater production of 100 L s⁻¹ (Drechsel and Hanjra, 2015). The system consisted of 5 tanks. The first tank received the effluent from the city’s wastewater treatment plant and worked as a sedimentation tank; the second tank one was designed to have a high hydraulic retention time and was sown with duckweed. The 3rd, 4th, and 5th tanks were used for the cultivation of fish (carp and tilapia) and its effluent was used for the irrigation of fruit trees. The production of fish was 15 t ha⁻¹ y⁻¹ and for duckweed was 220–400 t ha⁻¹ y⁻¹. All of the products (the fish and the fruits) were sold in the local market so the production system was self-sufficient.

In a study by Terechovs et al. (2019), 17β estradiol, diazepam, verapamil and trimethoprim were found in the liver of fish, which indicates that they can accumulate and be metabolized by this organ. Adhikari et al. (2009) studied the concentration of Pb, Cd, Cr, Cu, and Zn in water, sediments and internal organs of fish cultivated in ponds with wastewater from Calcuta (India). They found that Pb exceeded the maximum level allowed by the Canadian Environmental Quality Guidelines (22 µg l⁻¹ vs. 7 µg l⁻¹). The five toxic metals were detected in sediments although only Cd and Pb exceeded the maximum levels established by the EPA (Cd: 10.1 µg g⁻¹ dw vs. 1.2 µg g⁻¹ dw; Pb: 50.5 µg g⁻¹ dw vs. 46.7 µg g⁻¹ dw). The only toxic metal that appeared to be bioaccumulated by the aquatic organisms was Zn, mainly in kidneys. The concentrations of all five toxic metals in flesh were many times lower than the safety margins established by the WHO and FAO thus, fish were considered safe for human consumption.

A study by Mark et al. (2019), found that fish of the species *Clarias gariepinus* cultivated in ponds with domestic reclaimed water can have Fe and Cd levels within the maximum levels allowed by the FAO, WHO, and NOAA. The tissues that presented a higher bioaccumulation of toxic metals were the gills and liver with concentrations of 0.1 – 2.0 mg kg⁻¹, which were still below the safety threshold for human consumption (1 – 2 mg kg⁻¹). Although *Escherichia coli* was detected in levels of 104 UFC 100 ml⁻¹ in reclaimed water and sediments of the cultivation ponds, the fish tissues did not present *E. coli* nor other pathogens like Salmonella and helminths. However, as with agricultural produce, it is necessary to use adequate hygiene measures such as proper wash and adequate

cooking of the fish after harvest, disinfection of hands and appliances to avoid contamination by pathogens.

Sharma and Olah (1986), Sahoo and Singh (2015), and Li et al. (2017) documented the use of waste from a porcine farm for tilapia cultivation obtaining good results in terms of growth without detrimental effects of the cultivated organism nor human health concerns. Thus, it has been put forward that an adequate management of livestock wastes can decrease the probability of contracting diseases by virus and bacteria such as *E. coli* or *Toxoplasma gondii* (FAO/WHO, 2014).

With the goal to prevent infections by bacteria and contamination of fish meat, the WHO established a maximum level of certain microbiological parameters in water, for example 1,000 fecal coliform bacteria per 100 mL in water. And to avoid the risk of infection by helminths, water has to be free of helminth eggs to prevent diseases such as schistosomiasis, fasciolopsiasis and clonorchiasis (Blumenthal et al., 2000). The same authors also mention the need to monitor the microbiological quality of fish once they have been fished. The handling of the fish is particularly important since the concentration of bacteria can be particularly higher in guts than in muscle, so during the process of evisceration the risk of contamination to other parts of the fish is very high.

As mentioned before, toxic metals such as arsenic, cadmium, lead and mercury can be bioaccumulated in carnivore fish; however, it is highly unlikely that the fish would be harvested at an adult age so the concentration of these metals would be low (WHO, 2006). The plants can also bioaccumulate toxic metals but at a level that is not considered a hazard to human health (WHO, 2008). In relation to chemical contaminants such as pesticides, these are not a problem in the aquaculture industry. However, in countries with weak regulations and there is widespread use of agrochemicals, the possibility to be exposed to these substances increases substantially. Such is the case of glyphosate in waters of the Amazon region where it has been found bioaccumulated in tissues of fish for human consumption (Gómez-Ramírez et al., 2012).

The European Union (Unión Europea [UE], 2019) and Codex Alimentarius (Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals [IOMC], 2008) have established maximum levels of toxic metals allowed for in fish tissue for human consumption. For example, for Hg the maximum concentration in fish is 0.5 mg kg⁻¹ fresh tissue; for Cd, it shouldn't be above 0.050 mg kg⁻¹ fresh tissue per day (Unión Europea [UE], 2019). For Pb, concentrations above 0.30 mg kg⁻¹ can be considered a health risk and, according to The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), the weekly intake of inorganic As is 0.015 mg kg⁻¹ (WHO, 2008).

Therefore, in order to avoid the risk for the consumers of fish cultivated with reclaimed water due to the bioaccumulation of toxic metals and microcontaminants, the cultivation of ornamental fishes can be an attractive option. It has been estimated that approximately 4,000 species of

freshwater ornamental fish are commercialized worldwide, of which between 700 and 800 are cultivated. In contrast, only 180 species of freshwater fish are used as food (Ramirez et al., 2010). For ornamental fishes, wastewater of lower quality can be used, which means fewer wastewater treatment processes and higher profitability.

As highlighted above, more studies on the bioaccumulation of substances, using different species of fishes and changing cultivation conditions in order to gather further experiences with the cultivation of fish in reclaimed water are needed.

Aquaponics with reclaimed water

It was not possible to find an academic study that used wastewater or reclaimed water for aquaponics. The only apparent study that does mention wastewater for aquaponics is Rana et al. (2011) that used domestic wastewater at various dilutions for the growth of tomato (*Lycompersicum esculentum*). Although the title does mention aquaponics, there is no description of the aquatic organism used nor about its growth or survival rates. Having said that, there are a considerable number of studies in which wastewater has been used for the growth of fish, plants or vegetables which might indicate that such activities could be integrated (into aquaponics) and become viable taking into consideration factors such as health standards, concentration of contaminants in water and monitoring of certain contaminants in the flesh of plants and fishes to avoid human health risks.

Some examples of such studies are the following. Siqwepu et al. (2020) demonstrated that the addition of 30 mg kg⁻¹ of ferrous sulfate (FeSO₄) to the diet of fish (*C. gariepinus*) increased their hematologic profile and produced an effluent adequate in terms of Fe (0.16 mg L⁻¹) for the growth of plants. Luo et al. (2020) analyzed the influence of the use of Selenium (Se) on the growth, ornamental features and health of the Koi carp (*Cyprinus carpio Koi*) and lettuce. In diets using 1.55 – 1.57 mg Se kg⁻¹ it was observed a greater weight gain, a larger content of carotenoids and improved immunological capacity of the carp. In the hydroponic system, the lettuce did not show adverse effects with the addition of Se. It was concluded that Se is a microelement essential for animals and a cofactor in glutathione peroxidase (GSH-Px), which is an important antioxidant and eliminator of free radicals. The use of reclaimed water for the cultivation of fishes does not adversely affect their growth rate and survival rate, according to Zaibel et al. (2020). They conducted a study with *Cyprinus carpio* cultivated in solutions of 0, 50, and 100% municipal reclaimed water for 5 months. Similarly to other studies, the concentrations of toxic metals in the flesh of the fish were below the maximum levels established by the FAO. These results can make us conclude that reclaimed water can be safely used for the cultivation in aquaponics for some species of fish.

Although no specific reports on the use of reclaimed water in aquaponics were found, several published studies have dealt with the treatment of wastewater during the cultivation of aquatic

organisms, mainly through phytoremediation by aquatic plants such as water spinach (*Ipomoea aquatica*) and duckweed (*Lemna minor*). These plants are added as a remediation component (Effendi et al., 2015) or as a diet supplement of fishes and other organisms (Pinandoyo et al., 2019). Studies by Effendi et al. (2015) demonstrate the nutrient removal capacity of an aquaponic system with crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and water spinach, obtaining 85% reduction for NH_4^+ , 34% for NO_3^- and 44% for PO_4 . Endut et al. (2009) used water spinach to treat wastewater from an aquatic system cultivating African catfish at three hydraulic loading rates (HLR). Results demonstrated the removal of 65% of BOD, 83% of total suspended solids, 78% of ammonia and 89% of nitrites and a positive correlation between removal rates and hydraulic loading rate (HLR). All hydraulic loading rates (HLR) were efficient for the removal of nutrients and to maintain water quality conditions for the growth of fishes.

Other studies have demonstrated that small densities of fishes in reservoirs filled with reclaimed water can help regulate the growth of microalgae and undesirable vectors such as mosquitoes and snails (Terechovs et al., 2019). The growth of microalgae in aquaponic systems has been used to promote the improvement of water quality by increasing its buffer capacity, dissolved oxygen levels and the production of polyunsaturated fatty acids that can be added to the diet of the fish. The latter is very relevant as a common deficiency of aquaponics systems (and indeed aquaculture systems) is the need to add external substances like concentrates, which represent one of the highest costs in aquatic production systems (Addy et al., 2017). As mentioned earlier, other options for the use of reclaimed water in aquaponic systems is the use of ornamental plants (*Dianthus*, *Chrysanthemum*, *Gerbera*, *Euphorbia*, *Anthurium*, *Alstromeria*, *Lilium*, *Rose*) and ornamental fishes (Table 1). The worldwide market for ornamental plants has been calculated in 60 billion dollars per year. The countries with the larger demand for flowers are Switzerland, Japan and the United States and the main producers are the European Union, United States, Japan, and Colombia (van Uffelen and de Groot, 2005). Reclaimed water could serve as an important source of nutrients for the cultivation of ornamental plants although risks for human health need to be taken into consideration (De Bon et al., 2010). The market for ornamental fish in 2010 was calculated at 10 billion dollars. The largest importers of ornamental fish are the United States, the European Union and Japan, while the main exporters are Belgium, The Netherlands, United States, Australia, Brazil, and Colombia. It has been calculated that more than half of the total commerce for wildlife are fishes, and only in the United States there are more than 160 million aquariums (Biondo and Burki, 2014). Therefore, reclaimed water could be used for the production of ornamental fishes and it wouldn't affect its commercialization as these would not be used for human consumption.

Specie	Care level	Diet	Max. Size (cm)	Sale price (USD)
<i>Cyprinus carpio</i>	Easy	Omnivore	7.6	\$17.99

<i>Carassius auratus</i>	Easy	Omnivore	20.3	\$2.69 (3 a 5 pack)
<i>Pterophyllum scalare</i>	Easy	Omnivore	15.2	\$4.99
<i>Danio rerio</i>	Easy	Omnivore	6.4	\$70 (10 pack)
<i>Poecilia reticulata</i>	Easy	Omnivore	4.5	\$14.99 (3 pack)
<i>Puntius tetrazona</i>	Easy	Omnivore	7.6	\$11.99
<i>Gymnocorymbus</i> sp.	Moderate	Omnivore	6.4	\$11.99
<i>Symphysodon</i> sp.	Moderate	Carnivore	20.3	\$479.99 (3 pack)

Table 1. List of ornamental fishes that can be cultivated in captivity and with the potential of being used in aquaponics with reclaimed water. Source: <https://www.liveaquaria.com/>. The costs are for organisms in aquariums and presented only as a reference. Costs are subject to change and depend on availability, quality and quantity of organisms required for each system.

In relation to legislation for the use of reclaimed water in aquaponics, there are no current norms. The United States, the European Union and the WHO have guidelines for the use of reclaimed water in agriculture, in order to guarantee low risk to human health (Cifuentes-Torres et al., 2020). With respect to the risks associated with the use of wastewater in aquaculture and, therefore, applicable to aquaponics, the WHO has established that the primary concern is the presence of pathogens, followed by the exposure to chemical substances. The adequate treatment of wastewater can significantly decrease the transmission of illnesses. It has been established that other measures such as adequate cooking of the food and hygiene facilities within the households can decrease the risks of contamination of bacteria like *E. coli*, *Vibrio Cholerae*, *Salmonella* spp. and *Shigella* spp., protozoa like *Giardia intestinalis* and *Entamoeba* spp., and virus like hepatitis A, hepatitis E, adenovirus and rotavirus. The risk of disease by helminths such as *Ascaris*, hookworms and *Taenia* spp. is higher for farmers and consumers of contaminated plants than for aquaculture workers and consumers of contaminated fish. Special considerations have to be taken with nematodes such as *Clonorchis*, *Opisthorchis* y *Fasciola* which can be transmitted by direct contact with contaminated water or if the infected plant or fish are eaten raw.

In relation to the possible consideration of aquaponic products as organic, according to the guidelines established by the National Organic Standards Boards (NOBS), the addition of synthetic materials and products from an industrial nature, limit the possibility of obtaining an organic certification in products from aquaponic systems (National Organic Standards Board [NOSB], 2016). In these, inorganic substrates are commonly used for the hydroponic component and pelleted food

is used for aquatic organisms (Kledal et al., 2020). Additionally, according to the regulations by the EU (834/2007), for the production of organic horticulture, plants have to grow on soil, using the biological interactions generated in this ecosystem and, thus reducing the addition of agrochemicals to the soil. This has created problems due to desertification, monocultures, and the decrease of nutrients in agricultural soils so for traditional agriculture it is a challenge to grow organic products (Altieri, 2002). This has caused the need to implement new technologies, like hydroponics, that partially solves the problem of the lack of nutrients in soil. Nevertheless, organic horticulture prefers to pursue soil management rather than the adoption of a technology that dispenses with soil, causing that the certification of products from aquaponics, hydroponics or aquaculture will probably won't happen in the near future, specifically in the UE (Kledal et al., 2020).

Despite this panorama, some private certification agencies in the United States, approved by the USDA, are generating organic certifications to vegetables produced by aquaponics under the argument established by the National Organic Standards Board [NOBS] in 2002 that defines organic production as “a production system that follows the agreements by law and regulations through the promotion of the natural cycle of the resources, through the integration of cultural, biological and structural components (referring to the assembly of the production system), promoting the ecological equilibrium and conservation of biodiversity” (National Organic Standards Board [NOSB], 2016). Thus, the methods used by hydroponics and aquaponics are legally entitled to be certified for the production of organic products as long as the producer can demonstrate the use of organic products guidelines (National Organic Standards Board [NOSB], 2010).

However, there is still controversy on the use of organic labels in crops produced from soil-less technologies (such as hydroponics and aquaponics) due to the opposition by soilbased farmers that argue that new labeling could cause confusion for consumers (Agricultural Marketing Service [AMS], 2016). The reality is that consumers of products from soil-less systems do not necessarily seek organic-product labels to consider these products more environmentally friendly than those from traditional agriculture (Kledal et al., 2020). Considering the fact that fertilizers in aquaponics originate through reclaimed water with nutrients from other systems, the organic certification would make even more sense, when following all healthsafety protocols.

The development of new policies for the use of reclaimed water in aquaponics must include, following the proposal by Alcalde Sanz and Gawlik (2017), the development of operational procedures such as: implementation of a risk management evaluation team, characterization of the reclaimed water, the effluent and receiving waters and processes validation. This management framework is similar to the one used to regulate the reuse of reclaimed water in irrigation and aquifer recharge.

The data included in the present analysis are those found in academic publications. It is evident that, in theory, the potential for the use of reclaimed water in aquaponics is high. However, the potential is only theoretical so there is a need for studies that can translate the potential into reality by means of experimental demonstrations, and pilot-scale studies would be particularly useful.

Conclusion

Reclaimed water can, in theory, be used in aquaponics as it has been used as a water source in agriculture irrigation and aquaculture for many decades. The current analysis highlights that there is an opportunity to use reclaimed water in aquaponics although there are still many questions that arise and more studies are needed to demonstrate that this technology is sustainable. There is the potential that toxic compounds such as certain toxic metals at low concentrations can function as food supplies in fish diets, under strict and controlled conditions. The presence of microalgae in aquaponic systems can make it an advantage as it acts as both a food producer and wastewater treatment process. It is necessary to develop guidelines for the use of wastewater in aquaponic systems. To do so, it is necessary to continue studies with aquatic organisms and plants with the ability to metabolize contaminants without the risk to human health. Studies on the effects of water quality and possible bioaccumulation of contaminants in fish and plant tissue would have to be undertaken to prove its eventual safety and facilitate its commercialization.

References

Addy, M. M., Kabir, F., Zhang, R., Lu, Q., Deng, X., Current, D., et al. (2017). Cocultivation of microalgae in aquaponic systems. *Bioresour. Technol.* 245, 27–34. doi: 10.1016/j.biortech.2017.08.151

Adhikari, S., Ghosh, L., Rai, S. P., and Ayyappan, S. (2009). Metal concentrations in water, sediment, and fish from sewage-fed aquaculture ponds of Kolkata. India. *Environ. Monit. Assess.* 159, 217–230. doi: 10.1007/s10661-008-0624-8

Agricultural Marketing Service [AMS] (2016). Memorandum to the National Organic Standards Board. Hydroponic and Aquaponic Task Force Report. Available online at: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/2016%20Hydroponic%20Task%20Force%20Report.PDF>. (Accessed March 19, 2020).

Alcalde Sanz, L., and Gawlik, B. (2017). Minimum Quality Requirements for Water Reuse in Agricultural Irrigation and aquifer Recharge - Towards a Water Reuse Regulatory Instrument at EU Level Réédition. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: skyscraper sustainability? *Sustain. Cities Soc.* 18, 74–77. doi: 10.1016/j.scs.2015.06.003

Al-Fedh, Y. S., Alam, A., and Salaheldin, M. (2008). Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *J. World Aquac. Soc.* 39, 510–520. doi: 10.1111/j. 1749-7345.2008.00181 Altieri,

M. A. (2002). “Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables,” in *Ediciones científicas Latinoamericanas*, ed. S. J. Sarandón (Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable nutrientes).

Bailey, D. S., and Ferrarezi, R. S. (2017). Valuation of vegetable crops produced in the UVI commercial aquaponic system. *Aquac. Rep.* 7, 77–82. doi: 10.1016/j. aqrep.2017.06.002

Biondo, M. V., and Burki, R. P. (2014). A systematic review of the ornamental fish trade with emphasis on coral reef fishes—an impossible task. *Animals* 10:2014. doi: 10.3390/ani10112014

Bixio, D., Thoeve, C., Wintgens, T., Ravazzini, A., Miska, V., Muston, M., et al. (2008). Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination* 218, 13–23. doi: 10.1016/j.desal.2006.10.039

Blumenthal, U., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., and Mara, D. (2000). Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions based on new Research Evidence. WELL Study, Task No.: 68 Part 1. Water and Environmental Health: London.

Buzby, K. M., and Lin, L. S. (2014). Scaling aquaponic systems: balancing plant uptake with fish output. *Aquac. Eng.* 63, 39–44. doi: 10.1016/j.aquaeng.2014.09. 002

Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L., Correa-Reyes, G., and Daesslé, L. W. (2020). Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. *Water Environ. J.* 35, 166–180. doi: 10.1111/wej.12617

De Bon, H., Parrot, L., and Moustier, P. (2010). Sustainable urban agriculture in developing countries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 21–32. Doi: 10.1051/ agro:2008062

Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., and Jijakli, H. (2016). Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Sucre*) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. *Water* 8:467. doi: 10.3390/w810 0467

Diver, S. (2006). Aquaponics-Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA). Available online at: <https://attra.ncat.org/product/aquaponics-integrationof-hydroponics-with-aquaculture/> (accessed May 13, 2021).

Drechsel, P., and Hanjra, M. (2015). Wastewater for Agriculture, Forestry and Aquaculture. Available online at: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/resource_recovery_from_waste-section-IV.pdf. (Accessed 13 February, 2020).

Ebeling, J. M., Timmons, M. B., and Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.03.019

Effendi, H., Utomo, B., and Darmawangsa, G. (2015). Phytoremediation of freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater with spinach (*Ipomoea aquatica*) in aquaponic system. *AACL Bioflux* 8, 421–430.

Elgallal, M., Fletcher, L., and Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: a review. *Agric. Water Manage.* 177, 419–431. doi: 10.1016/j.agwat.2016.08.027

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W. B. W., and Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresour. Technol.* 101, 1511–1517. doi: 10.1016/j.biortech.2009.09.040

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., and Wan Nik, W. B. (2011). Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalination Water Treat.* 32, 422–430. doi: 10.5004/dwt.2011.2761

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B., and Hassan, A. (2009). Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system. *Desalination Water Treat.* 5, 19–28. Doi: 10.5004/dwt.2009.559

Endut, A., Lananan, F., Abdul Hamid, S. H., Jusoh, A., and Wan Nik, W. N. (2016). Balancing of nutrient uptake by water spinach (*Ipomoea aquatica*) and mustard green (*Brassica juncea*) with nutrient production by African catfish (*Clarias gariepinus*) in scaling aquaponic recirculation system. *Desalination Water Treat.* 57, 29531–29540. doi: 10.1080/19443994.2016.1184593

FAO/WHO (2014). Multicriteria-based Ranking for Risk Management of FoodBorne Parasites. Microbiological Risk Assessment. Rome, 302. Available online at: <http://www.fao.org/3/i3649e/i3649e.pdf>. (accessed January 20, 2021).

Food and Agriculture Organization of the United (2018). The State of and Aquaculture World Fisheries. doi: 10.1111/fog.12466.

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., and Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability* 7, 4199–4224. doi: 10.3390/su7044199

Gómez-Ramírez, E., Guzmán-Beltrán, L., Eslava-Mocha, P., and Hurtado-Giraldo, H. (2012). Efecto de dosis subletales de un herbicida comercial en el sistema nervioso de alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). *Orinoquia* 16:264. doi: 10.22579/20112629.139

González-Carmona, E., and Torres-Valladares, C. I. (2014). La Sustentabilidad Agrícola de las Chinampas en el Valle de México: caso Xochimilco. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Available online at: <http://www.redalyc.org/pdf/141/14131514005.pdf>. (accessed December 13, 2021).

Graber, A., and Junge, R. (2009). Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246, 147–156. doi: 10.1016/j.desal.2008.03.048 Greenfeld, A., Becker, N., McIlwain, J., Fotedar, R., and Bornman, J. (2019). Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties. *Rev. Aquac.* 11, 848–862. doi: 10.1111/raq.12269

Gupta, S., Satpati, S., Nayek, S., and Garari, D. (2010). Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes. *Environ. Monit. Assess.* 165, 169–177. doi: 10.1007/s10661-009-0936-3

Hambly, C. A., Arvin, E., Pedersen, L. F., Pedersen, L. B., Seredynska-Sobecka, B., and Stedmon, C. A. (2015). Characterising organic matter in recirculating aquaculture systems with fluorescence EEM spectroscopy. *Water Res.* 83, 112–120. Doi: 10.1016/j.watres.2015.06.037

Henfi, E., Bagus, U., and Darmawangsa, G. M. (2015). Phytoremediation of freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater with spinach (*Ipomoea aquatica*) in aquaponic system. *AACL Bioflux* 8, 421–430.

Hernández, L. (2006). La agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos y sociales, como vía para la seguridad alimentaria en nuestras ciudades. *Cultivos Tropicales* 27, 13–25.

Hoevenaars, K., Junge, R., Bardocz, T., and Leskovec, M. (2018). Aquaponic corner EU policies: new opportunities for aquaponics. *Ecocycles* 4, 10–15. doi: 10.19040/ecocycles.v4i1.87 Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A. C., and Khanal, S. K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresour. Technol.* 188, 92–98. doi: 10.1016/j.biortech.2015.01.013

Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., and Khanal, S. K. (2012). Nitrous oxide (N₂O) emission from aquaculture: a review. *Environ. Sci. Technol.* 46, 6470–6480. doi: 10.1021/es300110x

Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals [IOMC] (2008). Guidance for Identifying Populations at Risk From Mercury Exposure. Available online at: <https://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf> (accessed January 18, 2020).

Kim, D.-J., Ahn, D. H., and Lee, D.-I. (2005). Effects of free ammonia and dissolved oxygen on nitrification and nitrite accumulation in a biofilm airlift reactor. *Korean J. Chem. Eng.* 22, 85–90. doi: 10.1007/BF02701467

Kledal, P., König, B., and Matulic, D. (2020). “Aquaponics: the ugly duckling in ‘organic regulation,” in *Aquaponics Food Production Systems*, eds S. Goddek, B. Kotzen, A. Joyce, and G. Burnell (Berlin: Springer), 487–500. doi: 10.1007/978-3-030-15943-6_19

König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., and Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *J. Clean. Prod.* 180, 232–243. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.037

Lampreia, M. J. P. (2016). Smart cities and urban areas—aquaponics as innovative urban agriculture. *Urban For. Urban Green.* 20, 402–406. doi: 10.1016/j.ufug.2016.10.004

Li, K., Liu, L., Sceippo, M.-L., Hvidtfeld, K., Liu, Y., and Dalsgaard, A. (2017). Sources and fate of antimicrobials in integrated fish-pig and non-integrated tilapia farms. *Sci. Total Environ.* 595, 393–399. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.124

Li, X.-N., Song, H.-L., Lu, X.-W., Xie, X.-F., and Inamori, Y. (2009). Characteristics and mechanisms of the hydroponic bio-filter method for purification of eutrophic surface water. *Ecol. Eng.* 35, 1574–1583. doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.12.034

Licciardello, F., Milani, M., Consoli, S., Pappalardo, N., Barbagallo, S., and Cirelli, G. (2018). Wastewater tertiary treatment options to match reuse standards in agriculture. *Agric. Water Manage.* 210, 232–242. doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.001

Liu, W., Du, X., Tan, H., Xie, J., Luo, G., and Sun, D. (2021). Performance of a recirculating aquaculture system using biofloc biofilters with convertible watertreatment efficiencies. *Sci. Total Environ.* 754:141918. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141918

Love, D., Uhl, M., and Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquac. Eng.* 68, 19–27. Doi: 10.1016/j.aquaeng.2015.07.003

Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., et al. (2014a). An international survey of aquaponics practitioners. PLoS One 9:e102662. doi: 10.1371/journal.pone.0102662

Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., et al. (2014b). Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. Aquaculture 435, 67–74. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2014. 09.023

Luo, X. L., Rauan, A., Xing, J. X., Sun, J., Wu, W. Y., and Ji, H. (2020). Influence of dietary Se supplementation on aquaponic system: focusing on the growth performance, ornamental features and health status of Koi carp (*Cyprinus carpio* var. Koi), production of Lettuce (*Lactuca sativa*) and water quality. Aquac. Res. 52, 505–517. doi: 10.1111/are.14909

Mark, Y. A., Philip, A., Nelson, A. W., Muspratt, A., and Aikins, S. (2019). Safety assessment on microbial and heavy metal concentration in *Clarias gariepinus* (African catfish) cultured in treated wastewater pond in Kumasi. Ghana. Environ. Technol. 40, 302–311. doi: 10.1080/09593330.2017.138 8851

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., and Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: a review. Ital. J. Agron. 13, 1–11. doi: 10.4081/ija.2017.1012

Mchunu, N., Lagerwall, G., and Senzanje, A. (2018). Aquaponics in South Africa: results of a national survey. Aquac. Rep. 12, 12–19. doi: 10.1016/j.aqrep.2018. 08.001 National Organic Standards Board [NOSB] (2010). Formal Recommendation by the National Organic Standards Board (NOSB) to the National Organic Program (NOP). Available online at: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/NOP%20Final%20Rec%20Production%20Standards%20for%20Terrestrial%20Plants.pdf>. (accessed 18 Mar 2021).

National Organic Standards Board [NOSB] (2016). Hydroponic and aquaponic subcommittee report 2016. Hydroponic y Aquaponic Subcommittee Report. Preserving a philosophy while embracing a changing world, In: NOSB 2016: National Organic Standards Board (NOSB) Hydroponic and Aquaponic Task Force Report. Available online at: [https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/ media/2016%20Hydroponic%20Task%20Force%20Report.PDF](https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/2016%20Hydroponic%20Task%20Force%20Report.PDF). (accessed 18 Mar 2021).

Pescod, M. B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture - FAO. In Food and Agriculture Organization of The United Nations. Available online at: <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm#Contents>. (accessed 16 enero, 2021).

Pinandoyo, H. J., Darmanto, Herawati, Radjasa, O. K., and Herawati, V. E. (2019). Growth and nutrient value of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with lemna minor meal based on different fermentation time. *AACL Bioflux* 12, 191–200.

Pollard, G., Ward, J. D., and Koth, B. (2017). Aquaponics in urban agriculture: social acceptance and urban food planning. *Horticulturae* 3, 39. doi: 10.3390/horticulturae3020039 Prein, M. (1990). "Wastewater-fed fish culture in Germany," in *WastewaterFed Aquaculture. Proceedings of the International Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse for Aquaculture*, Calcutta, December 1988. eds P. Edwards, and R. Pullin (Bangkok: Asian Institute of Technology)

Rakocy, J. E. (2012). "Aquaponics-integrating fish and plant culture," in *Aquaculture Production Systems*, ed. J. H. Tidwell (Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, Inc), 344–386. doi: 10.1002/9781118250105.ch14

Ramirez, C. M., Mendoza, R. A., and Aguilera, C. G. (2010). Estado Actual y Perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato de agua dulce en México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Available online at: <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/2010-Ramirez-Estado-peces-de-ornato.pdf>. (accessed 18 de enero de 2021).

Rana, S., Bag, S., Golder, D., Murkherjee, R., Pradhan, C., and Jana, B. (2011). Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. *Ecol. Eng.* 37, 981–988. doi: 10.1016/j.ecoleng.2011.01.009

Ribeiro, S., Bógus, C., and Wada-Watanabe, H. (2015). Agroecological urban agriculture from the perspective of health promotion. *Saúde Soc. São Paulo* 24, 730–743. Doi: 10.1590/S0104-12902015000200026

Ru, D., Liu, J., Hu, Z., Zou, Y., Jiang, L., Cheng, X., et al. (2017). Improvement of aquaponic performance through micro- and macro-nutrient addition. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 16328–16335. doi: 10.1007/s11356-017-9273-1

Ruiz, G., Jeison, D., and Chamy, R. (2003). Nitrification with high nitrite accumulation for the treatment of wastewater with high ammonia concentration. *Water Res.* 37, 1371–1377. doi: 10.1016/S0043-1354(02) 00475-X

Sahoo, U. K., and Singh, S. L. (2015). Integrated fish-pig and fish-poultry farming in east kalcho, saiha district of mizoram, north-east india: an economic analysis. *Int. J. Agric. For.* 5, 281–286. doi: 10.5923/j.ijaf.20150505.03

Salgot, M., and Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* 2, 64–74. doi: 10.1016/j.coesh.2018.03.005

Santoso, P., and Sunadji. (2020). Use of probiotics in fish feed and clams (*Pilsbryconcha exilis*) as biofilter components of aquaponic system in archipelagic dryland. *Trop. Drylands* 3, 46–50. doi: 10.13057/tropdrylands/ t040203

Sharma, B. K., and Olah, J. (1986). Integrated fish- pig farming in India and Hungary. *Aquaculture* 54, 135–136. Doi: 10.1016/0044-8486(86)90265-6

Siqwepu, O., Salie, K., and Goosen, N. (2020). Evaluation of chelated iron and iron sulfate in the diet of African catfish, *Clarias gariepinus* to enhance iron excretion for application in integrated aquaponics systems. *J. World Aquac. Soc.* 51, 1034–1053. doi: 10.1111/jwas.12697

Spaccini, R., Piccolo, A., Dobbss, L. B., Okorokova-fa, A. L., Arau, G., De Olivares, L., et al. (2009). Relationships Between Chemical characteristics and root growth promotion of humic acids isolated from Brazilian Oxisols. *Soil Sci.* 174, 611–620. doi: 10.1097/SS.0b013e3181bf1e03

Terechovs, A. K. E., Ansari, A. J., McDonald, J. A., Khan, S. J., Hai, F. I., Knott, N. A., et al. (2019). Occurrence and bioconcentration of micropollutants in Silver Perch (*Bidyanus bidyanus*) in a reclaimed water reservoir. *Sci. Total Environ.* 650, 585–593. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.431
The Food Agriculture Conservation and Trade Act of 1990 (1990). "S.2830 - 101st Congress (1989-1990): Food, Agriculture, Conservation, and Trade Act of 1990." Congress.gov, Library of Congress, 28 November 1990. Available online at: <https://www.congress.gov/bill/101st-congress/senate-bill/2830>. (accessed January 17, 2021).

Tomlinson, L. (2017). Aquaponia cubierta en edificios abandonados: una posible solución a los desiertos de alimentos. *Sustain. Dev. Law Policy* 16, 23–30.

Turcios, A. E., and Papenbrock, J. (2014). Sustainable treatment of aquaculture effluents- what can we learn from the past for the future? *Sustainability* 6, 836–856. doi: 10.3390/su6020836
Unión Europea [UE] (2019). Metales Pesados. Available online at: <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf> (accessed 15 January, 2021).

United States Environmental Protection Agency (2012). Guidelines for Water Reuse. Available online at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf> (accessed 17 January, 2021).

van Uffelen, R., and de Groot, N. (2005). Floriculture World Wide; production, trade and consumption patterns show Market Opportunities and Challenges. Available online at: <https://core.ac.uk/download/pdf/7037501.pdf> (accessed 18 January, 2021).

Vermeulen, T., and Kamstra, A. (2013). The need for systems design for robust aquaponic system in the urban environment. *Acta Hortic.* 1004, 71–77. Doi: 10.17660/actahortic.2013.1004.6

Vo, Q. H., and Edwards, P. (2005). “Wastewater reuse through urban aquaculture in Hanoi: status and prospects,” in *Urban Aquaculture*, ed. B. Costa-Pierce (CABI Publishing), 510–520. WHO (2006). *Guidelines for the Safe use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Geneva: WHO. WHO (2008). *Principles and Methods for the Risk Assessment of Chemicals in Food*. Available online at: https://www.who.int/foodsafety/chem/dietary_exposure.pdf. (accessed January 16, 2021).

Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, J., Hernández, F., et al. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Available online at: <http://www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf>. (accessed 16 January, 2021).

Wirza, R., and Nazir, S. (2020). Urban aquaponics farming and cities- a systematic literature review. *Rev. Environ. Health.* 36, 47–61. doi: 10.1515/reveh-2020- 0064 Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., and Khanal, S. K. (2017a). Nitrogen transformations in aquaponic systems: a review. *Aquac. Eng.* 76, 9–19. doi: 10.1016/j.aquaeng.2017.01.004

Wongkiew, S., Popp, B., Kim, H. J., and Kumar Khanal, S. (2017b). Fate of nitrogen in floating-raft aquaponic systems using natural abundance nitrogen isotopic compositions. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 125, 24–32. doi: 10.1016/j.ibiod. 2017.08.006 Yep, B., and Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges – a review. *J. Clean. Prod.* 228, 1586–1599. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.290

Zahidah, Dhahiyat, Y., Andriani, Y., Sahidin, A., and Farizi, I. (2018). Impact of Red Water System (RWS) application on water quality of catfish culture using aquaponics. *IOP Conf. Ser.* 139:012009. doi: 10.1088/1755-1315/139/1/012009

Zaibel, I., Dagan, G., Arnon, S., Schwartzburd, F., Britzi, M., Snyder, S. A., et al. (2020). Tertiary-treated wastewater as a potential water source for sustainable aquaculture: a laboratory-scale experiment with *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 522:735161. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735161

Zhou, X., and Wang, Y. (2014). “Probiotics in aquaculture - benefits to the health, technological applications and safety,” in *Health and Environment in Aquaculture*, eds D. Carvalho, D. Silva, and R. da Silva (Rijeka: InTech), 215–226.

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., and Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresour. Technol.* 210, 81–87. doi: 10.1016/j.biortech.2015.12.079

Anexo 2.

Tabla X. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				1,016,159.55
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Invernadero y Sistema hidropónico				883,964.50
Invernadero	67	Naves/Ha	3,430.00	229,810.00
Sistema hidropónico	2010	Mesas/Ha	300.00	603,000.00
Sustrato hidropónico	2010	Mesas/Ha	25.45	51,154.50
Riego				130,191.05
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	2010	Mesas/Ha	11.75	23,617.50
Sistema de bombeo	2010	Mesas/Ha	35.63	71,616.30
Tratamiento agua UV	67	Sistema UV/Ha	52.75	34,957.25
2.- CAPITAL DE TRABAJO:				297,902.24
Recursos humanos:				44,928.00
Horticultor	8	Horticultor/año	3,744.00	29,952.00
Ingeniero agrícola	2	Salario/año	7,488.00	14,976.00
Recursos materiales:				246,61.00
Semillas				246,024.00
Semillas girasol	2894400	Semillas/año	0.09	246,024.00
Agroquímicos				594.00
Control de plagas	12	Ciclos/año	49.50	594.00
Pago de servicios:				6,356.24
Electricidad	12	Mensualidad	529.69	6,356.24
SUMAS TOTALES				1,314,061.79

Tabla XI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	1,016,159.55	39,733.34	42,713.34	45,916.85	49,360.61	53,062.65	57,042.35	61,320.53	1,365,309.23
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Invernadero y Sistema hidropónico	883,964.50								883,964.50
Invernadero	229,810.00								29,810.00
Sistema hidropónico	603,000.00								603,000.00
Sustrato hidropónico	51,154.50								51,154.50
Riego	130,191.05	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	460,410.20
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	23,617.50								23,617.50
Sistema de bombeo	71,616.30								71,616.30
Tratamiento agua UV	34,957.25	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	365,176.40
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	297,902.24	320,244.91	344,263.28	370,083.03	397,839.25	427,677.20	459,752.99	494,234.46	3,111,997.36
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	246,618.00	265,114.35	284,997.93	306,372.77	329,350.73	354,052.03	380,605.94	409,151.38	2,576,263.13
Semillas	246,024.00	264,475.80	284,311.49	305,634.85	328,557.46	353,199.27	379,689.21	408,165.91	2,570,057.98
Control de plagas	594.00	638.55	686.44	737.92	793.27	852.76	916.72	985.48	6,205.14
Pago de servicios:	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
Electricidad	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
SUMAS TOTALES	1,314,061.79	359,978.26	386,976.63	415,999.87	447,199.86	480,739.85	516,795.34	555,554.99	4,477,306.60

Tabla XII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	23,155,200.00
Tallos girasol (<i>H. annuus</i>) a ⁻¹	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	23,155,200.00
2.- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	578,880.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,550,990.21
Tallos girasol a ⁻¹	578,880.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,550,990.21
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	297,902.24	320,244.91	344,263.28	370,083.03	397,839.25	427,677.20	459,752.99	494,234.46	3,111,997.36
Costos fijos:	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	3,111,997.36
Pago de servicios:	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
Electricidad	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
Costos variables:	291,546.00	313,411.95	336,917.85	362,186.68	389,350.69	418,551.99	449,943.39	483,689.14	3,045,597.68
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	246,618.00	265,114.35	284,997.93	306,372.77	329,350.73	354,052.03	380,605.94	409,151.38	2,576,263.13
Semillas	246,024.00	264,475.80	284,311.49	305,634.85	328,557.46	353,199.27	379,689.21	408,165.91	2,570,057.98
Control de plagas	594.00	638.55	686.44	737.92	793.27	852.76	916.72	985.48	6,200.14
4.- UTILIDAD ANUAL	280,977.76	374,411.09	489,323.92	630,221.61	802,526.31	1,012,761.48	1,268,773.43	1,579,997.24	6,438,992.84
Utilidad de la agrupación	280,977.76	374,411.09	489,323.92	630,221.61	802,526.31	1,012,761.48	1,268,773.43	1,579,997.24	6,438,992.84
Utilidad por socio	280,977.76	374,411.09	489,323.92	630,221.61	802,526.31	1,012,761.48	1,268,773.43	1,579,997.24	6,438,992.84
Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.48

Punto de equilibrio (Cant, equilibrio: Ingresos = Costos)	12,805.66	12,450.18	12,328.24	12,378.19	12,563.75	12,862.78	13,261.68	13,752.19	4,568,925.89
---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	--------------

Tabla XIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	280,977.76	655,388.84	1,144,712.76	1,774,934.38	2,577,460.69	3,590,222.17	4,858,995.60	3,590,222.17
Flujo de efectivo	280,977.76	374,411.09	489,323.92	630,221.61	802,526.31	1,012,761.48	1,268,773.43	1,579,997.24	6,438,992.84
Disponibilidad de recursos	280,977.76	655,388.84	1,144,712.76	1,774,934.38	2,577,460.69	3,590,222.17	4,858,995.60	6,438,992.84	10,029,215.02
Saldo de fin de año	280,977.76	655,388.84	1,144,712.76	1,774,934.38	2,577,460.69	3,590,222.17	4,858,995.60	6,438,992.84	10,029,215.02
MÁXIMO NEGATIVO	280,977.76								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	6,438,992.84								
RENTABILIDAD FINANCIERA	22.92								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	4.90								
BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	2.07								

Tabla XIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción de Girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa	+	280,977.76	374,411.09	489,323.92	630,221.61	802,526.31	1,012,761.48	1,268,773.43	1,579,997.24
Inversiones totales	-	1,314,061.79	359,978.26	386,976.63	415,999.87	447,199.86	480,739.85	516,795.34	555,554.99
Valor Residual	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Incrementos del Capital de Trabajo	-	297,902.24	320,244.91	344,263.28	370,083.03	397,839.25	427,677.20	459,752.99	494,234.46
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-		-		-	3,111,997.36
Flujo de Efectivo de la Empresa		1,330,986.28	305,812.08	241,915.99	155,861.29	42,512.80	104,344.43	292,225.10	3,642,205.15
Tasa Interna de Retorno (TIR)	11.2%								
Valor Presente Neto (VPN)	1,827,657.6								

Tabla XV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				1,016,159.55
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Invernadero y Sistema hidropónico				883,964.50
Invernadero	67	Naves/Ha	3.430.00	229,810.00
Sistema hidropónico	2010	Mesas/Ha	300.00	603,000.00
Sustrato hidropónico	2010	Mesas/Ha	25.45	51,154.50
Riego				130,191.05
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	2010	Mesas/Ha	11.75	23,617.50
Sistema de bombeo	2010	Mesas/Ha	35.63	71,616.30
Tratamiento agua UV	67	Sistema UV/Ha	521.75	34,957.25

2.- CAPITAL DE TRABAJO:				109,568.24
Recursos humanos:				44,928.00
Horticultor	8	Horticultor/año	3,744,00	29,952.00
Ingeniero agricola	2	Salario/año	7,488,00	14,976.00
Recursos materiales:				58,284.00
Semillas				57,888.00
Semillas snapdragon	1929600	Semillas/año	0,03	57,888.00
Agroquímicos				396.00
Control de plagas	8	Ciclos/año	49,50	396.00
Pago de servicios:				6,356.24
Electricidad	12	Mensualidad	529,69	6,356.24
SUMAS TOTALES				1,125,727.79

Tabla XVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	1,016,159.55	39,733.34	42,713.34	45,916.85	49,360.61	53,062.65	57,042.35	61,320.53	1,365,309.23
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Invernadero y Sistema hidropónico	883,964.50	-	-	-	-	-	-	-	883,964.50
Invernadero	229,810.00	-	-	-	-	-	-	-	229,810.00
Sistema hidropónico	603,000.00	-	-	-	-	-	-	-	603,000.00
Sustrato hidropónico	51,154.50	-	-	-	-	-	-	-	51,154.50
Riego	130,191.05	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	460,410.20
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	23,617.50	-	-	-	-	-	-	-	23,617.50
Sistema de bombeo	71,616.30	-	-	-	-	-	-	-	71,616.30
Tratamiento agua UV	34,957.25	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	365,176.40
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	109,568.24	117,785.86	126,619.80	136,116.29	146,325.01	157,299.38	169,096.84	181,779.10	1,144,590.53
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	58,284.00	62,655.30	67,354.45	72,406.03	77,836.48	83,674.22	89,949.79	96,696.02	608,856.29
Semillas	57,888.00	62,229.60	66,896.82	71,914.08	77,307.64	83,105.71	89,338.64	96,039.04	604,719.52
Control de plagas	396.00	425.70	457.63	491.95	528.85	568.51	611.15	656.98	4,136.76
Pago de servicios:	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
Electricidad	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
SUMAS TOTALES	1,125,727.79	157,519.21	169,333.15	182,033.13	195,685.62	210,362.04	226,139.19	243,099.63	2,509,899.76

Tabla XVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	7,718,400.00
Tallos snapdragon/año	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	7,718,400.00
2.- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	385,920.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,358,030.21
Tallos snapdragon/año	385,920.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,358,030.21
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	109,568.24	116,662.66	124,233.00	132,312.15	140,935.32	150,140.21	159,967.20	170,459.55	1,104,278.33
Costos fijos:	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
Pago de servicios:	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
Electricidad	6,356.24	6,832.96	7,345.43	7,896.34	8,488.57	9,125.21	9,809.60	10,545.32	66,399.68
Costos variables:	103,212.00	109,829.70	116,887.57	124,415.81	132,446.75	141,015.00	150,157.60	159,914.23	1,037,878.65
Recursos humanos:	44,928.00	47,174.40	49,533.12	52,009.78	54,610.26	57,340.78	60,207.82	63,218.21	429,022.36
Horticultor	29,952.00	31,449.60	33,022.08	34,673.18	36,406.84	38,227.19	40,138.54	42,145.47	286,014.91
Ingeniero agrícola	14,976.00	15,724.80	16,511.04	17,336.59	18,203.42	19,113.59	20,069.27	21,072.74	143,007.45
Recursos materiales:	58,284.00	62,655.30	67,354.45	72,406.03	77,836.48	83,674.22	89,949.79	96,696.02	608,856.29
Semillas	57,888.00	62,229.60	66,896.82	71,914.08	77,307.64	83,105.71	89,338.64	96,039.04	604,719.52
Control de plagas	396.00	425.70	457.63	491.95	528.85	568.51	611.15	656.98	4,136.76
4.- UTILIDAD ANUAL	276,351.76	577,993.34	709,354.20	867,992.49	1,059,430.25	1,290,298.47	1,568,559.21	1,903,772.15	8,253,751.87
Utilidad de la agrupación	276,351.76	577,993.34	709,354.20	867,992.49	1,059,430.25	1,290,298.47	1,568,559.21	1,903,772.15	8,253,751.87
Utilidad por socio	276,351.76	577,993.34	709,354.20	867,992.49	1,059,430.25	1,290,298.47	1,568,559.21	1,903,772.15	8,253,751.87
Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Punto de equilibrio (Cant. equilibrio: Ingresos = Costos)	8,676.80	8,116.18	8,543.41	9,017.98	9,541.35	10,115.49	10,742.83	11,426.23	74,682.56

Tabla XVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	276,351.76	853,221.89	1,560,189.29	2,424,377.64	3,478,418.20	4,761,557.50	6,320,987.08	
Flujo de efectivo	276,351.76	576,870.14	706,967.40	864,188.35	1,054,040.56	1,283,139.30	1,559,429.58	1,892,452.60	8,213,439.68
Disponibilidad de recursos	276,351.76	853,221.89	1,560,189.29	2,424,377.64	3,478,418.20	4,761,557.50	6,320,987.08	8,213,439.68	
Saldo de fin de año	276,351.76	853,221.89	1,560,189.29	2,424,377.64	3,478,418.20	4,761,557.50	6,320,987.08	8,213,439.68	
MÁXIMO NEGATIVO	276,351.76								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	8,213,439.68								
RENTABILIDAD FINANCIERA	29.72								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	3.27								
RELACIÓN/BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	7.18								

Tabla XIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa	+	276,351.76	577,993.34	709,354.20	867,992.49	1,059,430.25	1,290,298.47	1,568,559.21	1,903,772.15
Inversiones totales	-	1,125,727.79	157,519.21	169,333.15	182,033.13	195,685.62	210,362.04	226,139.19	243,099.63
Incrementos del Capital de Trabajo	-	109,568.24	117,785.86	126,619.80	136,116.29	146,325.01	157,299.38	169,096.84	181,779.10
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-		-	-	-	1,144,590.53
Flujo de Efectivo de la Empresa		849,376.04	302,688.27	413,401.25	549,843.07	717,419.63	922,637.05	1,173,32.,18	2,623,483.95
Tasa Interna de Retorno (TIR)	60.0%								
Valor Presente Neto (VPN)	4,737,109.83								

Tabla XX. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				1,016,159.55
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Invernadero y Sistema hidropónico				883,964.50
Invernadero	67	Naves/Ha	3,430.00	229,810.00
Sistema hidropónico	2010	Mesas/Ha	300.00	603,000.00
Sustrato hidropónico	2010	Mesas/Ha	25.45	51,154.50
Riego				130,191.05
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	2010	Mesas/Ha	11.75	23,617.50
Sistema de bombeo	2010	Mesas/Ha	35.63	71,616.30
Tratamiento agua UV	67	Sistema UV/Ha	521.75	34,957.25
2.- CAPITAL DE TRABAJO:				355,139.04
Recursos humanos:				44,928.00
Horticultor	8	Horticultor/año	3,744.00	29,952.00
Ingeniero agrícola	2	Salario/año	7,488.00	14,976.00
Recursos materiales:				303,854.76
Semillas girasol	2894400	Semillas/año	0.09	246,024.00
Agroquímicos				57,830.76
Fertilizantes	2010	Mesas/Ha/año	28.48	57,236.76
Control de plagas	12	Ciclos/año	49.50	594.00
Pago de servicios:				6,356.28
Análisis de agua	12	Mensualidad	72.00	864.00
Electricidad	12	Mensualidad	529.69	6,356.28
SUMAS TOTALES				1,371,298.59

Tabla XXI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	1,016,159.55	39,733.34	42,713.34	45,916.85	49,360.61	53,062.65	57,042.35	61,320.53	1,365,309.23
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Invernadero y Sistema hidropónico	883,964.50	-	-	-					883,964.50
Invernadero	229,810.00	-		-	-	-	-	-	229,810.00
Sistema hidropónico	603,000.00	-	-	-	-	-	-	-	603,000.00
Sustrato hidropónico	51,154.50	-	-	-	-	-	-	-	51,154.50
Riego	130,191.05	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	460,410.20
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	23,617.50	-	-	-	-	-	-	-	23,617.50
Sistema de bombeo	71,616.30	-	-	-	-	-	-	-	71,616.30
Tratamiento agua UV	34,957.25	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	365,176.40
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	356,003.04	382,703.27	411,406.01	442,261.46	475,431.07	511,088.40	549,420.03	590,626.54	3,718,939.84
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	303,854.76	326,643.87	351,142.16	377,477.82	405,788.66	436,222.80	468,939.51	504,109.98	3,174,179.56
Semillas	246,024.00	264,475.80	284,311.49	305,634.85	328,557.46	353,199.27	379,689.21	408,165.91	2,570,057.98
Agroquímicos	57,830.76	62,168.07	66,830.67	71,842.97	77,231.20	83,023.54	89,250.30	95,944.07	604,121.57
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	594.00	638.55	686.44	737.92	793.27	852.76	916.72	985.48	6,205.14
Pago de servicios:	7,220.28	7,761.80	8,343.94	8,969.73	9,642.46	10,365.65	11,143.07	11,978.80	75,425.72
Análisis de agua	864.00	928.80	998.46	1,073.34	1,153.85	1,240.38	1,333.41	1,433.42	9,025.66
Electricidad	6,356.28	6,833.00	7,345.48	7,896.39	8,488.62	9,125.26	9,809.66	10,545.38	66,400.06
SUMAS TOTALES	1,372,162.59	422,436.61	454,119.36	488,178.31	524,791.68	564,151.06	606,462.39	651,947.07	5,084,249.07

Tabla XXII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	23,155,200.00
Tallos girasol/año	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00
2.- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	578,880.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,550,990.21
Tallos girasol/año	578,880.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,550,990.21
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	704,785.80	757,644.74	814,468.09	875,553.20	941,219.69	1,011,811.16	1,087,697.00	1,169,274.28	7,362,453.95
Costos fijos:	356,003.04	382,703.27	411,406.01	442,261.46	475,431.07	511,088.40	549,420.03	590,626.54	3,718,939.84
Pago de servicios:	7,220.28	7,761.80	8,343.94	8,969.73	9,642.46	10,365.65	11,143.07	11,978.80	75,425.72
Análisis de agua	864.00	928.80	998.46	1,073.34	1,153.85	1,240.38	1,333.41	1,433.42	9,025.66
Electricidad	6,356.28	6,833.00	7,345.48	7,896.39	8,488.62	9,125.26	9,809.66	10,545.38	66,400.06
Costos variables:	348,782.76	374,941.47	403,062.08	433,291.73	465,788.61	500,722.76	538,276.97	578,647.74	3,643,514.11
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	303,854.76	326,643.87	351,142.16	377,477.82	405,788.66	436,222.80	468,939.51	504,109.98	3,174,179.56
Semillas	246,024.00	264,475.80	284,311.49	305,634.85	328,557.46	353,199.27	379,689.21	408,165.91	2,570,057.98
Agroquímicos	57,830.76	62,168.07	66,830.67	71,842.97	77,231.20	83,023.54	89,250.30	95,944.07	604,121.57
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	594.00	638.55	686.44	737.92	793.27	852.76	916.72	985.48	6,205.14
4.-UTILIDAD ANUAL	125,905.80	62,988.74	19,119.11	124,751.44	259,145.88	428,627.52	640,829.42	904,957.43	2,188,536.26
Utilidad de la agrupación	125,905.80	62,988.74	19,119.11	124,751.44	259,145.88	428,627.52	640,829.42	904,957.43	2,188,536.26
Utilidad por socio	125,905.80	62,988.74	19,119.11	124,751.44	259,145.88	428,627.52	640,829.42	904,957.43	2,188,536.26
Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	1.55	1.20	0.96	0.78	0.65	0.54	0.46	0.39	0.63

Punto de equilibrio (Cant. Equilibrio: Ingresos = Costos)	895,634.56	831,514.03	796,568.58	780,222.44	776,897.62	783,419.21	797,889.08	819,142.43	6,012,645.23
---	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	--------------

Tabla XXIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	222,876.96	534,829.69	957,010.88	1,515,054.05	2,239,988.55	3,169,338.83	4,348,445.21	3,169,338.83
Flujo de efectivo	222,876.96	311,952.73	422,181.19	558,043.18	724,934.49	929,350.28	1,179,106.38	1,483,605.16	5,832,050.37
Disponibilidad de recursos	222,876.96	534,829.69	957,010.88	1,515,054.05	2,239,988.55	3,169,338.83	4,348,445.21	5,832,050.37	9,001,389.20
Saldo de fin de año	222,876.96	534,829.69	957,010.88	1,515,054.05	2,239,988.55	3,169,338.83	4,348,445.21	5,832,050.37	9,001,389.20
MÁXIMO NEGATIVO	222,876.96								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	5,832,050.37								
RENTABILIDAD FINANCIERA	26.17								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	1.15								
RELACIÓN/BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	1.57								

Tabla XXIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ARTc para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa	+	125,905.80	62,988.74	19,119.11	124,751.44	259,145.88	428,627.52	640,829.42	904,957.43
Inversiones totales	-	1,372,162.59	422,436.61	454,119.36	488,178.31	524,791.68	564,151.06	606,462.39	651,947.07
Incrementos del Capital de Trabajo	-	356,003.04	382,703.27	411,406.01	442,261.46	475,431.07	511,088.40	549,420.03	590,626.54
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-		-		-	3,718,939.84
Flujo de Efectivo de la Empresa		1,498,068.39	-868,128.61	846,406.26	805,688.33	-41,076.88	3,072,327.89	515,053.01	3,381,323.66
Tasa Interna de Retorno (TIR)	5.1%								
Valor Presente Neto (VPN)	1,074,322.37								

Tabla XXV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				1,016,159.55
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Invernadero y Sistema hidropónico				883,964.50
Invernadero	67	Naves/Ha	3,430.00	229,810.00
Sistema hidropónico	2010	Mesas/Ha	300.00	603,000.00
Sustrato hidropónico	2010	Mesas/Ha	25.45	51,154.50
Riego				130,191.05
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	2010	Mesas/Ha	11.75	23,617.50
Sistema de bombeo	2010	Mesas/Ha	35.63	71,616.30
Tratamiento agua UV	67	Sistema UV/Ha	521.75	34,957.25
2.- CAPITAL DE TRABAJO:				166,805.04
Recursos humanos:				44,928.00
Horticultor	8	Horticultor/año	3,744.00	29,952.00
Ingeniero agrícola	2	Salario/año	7,488.00	14,976.00
Recursos materiales:				115,520.76
Semillas girasol	1929600	Semillas/año	0.03	57,888.00
Agroquímicos				57,632.76
Fertilizantes	2010	Mesas/Ha/año	28.48	57,236.76
Control de plagas	8	Ciclos/año	49.50	396.00
Pago de servicios:				6,356.28
Análisis de agua	8	Mensualidad	72.00	576.00
Electricidad	12	Mensualidad	529.69	6,356.28
SUMAS TOTALES				1,182,964.59

Tabla XXVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (*A. majus*) en Sistemas Hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	1,016,159.55	39,733.34	42,713.34	45,916.85	49,360.61	53,062.65	57,042.35	61,320.53	1,365,309.23
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Invernadero y Sistema hidropónico	883,964.50	-	-	-	-	-	-	-	883,964.50
Invernadero	229,810.00	-	-	-	-	-	-	-	229,810.00
Sistema hidropónico	603,000.00	-	-	-	-	-	-	-	603,000.00
Sustrato hidropónico	51,154.50	-	-	-	-	-	-	-	51,154.50
Riego	130,191.05	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	460,410.20
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	23,617.50	-	-	-	-	-	-	-	23,617.50
Sistema de bombeo	71,616.30	-	-	-	-	-	-	-	71,616.30
Tratamiento agua UV	34,957.25	37,579.04	40,397.47	43,427.28	46,684.33	50,185.65	53,949.58	57,995.80	365,176.40
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	167,381.04	179,934.62	193,429.71	207,936.94	223,532.21	240,297.13	258,319.41	277,693.37	1,748,524.44
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	115,520.76	124,184.82	133,498.68	143,511.08	154,274.41	165,844.99	178,283.37	191,654.62	1,206,772.72
Semillas	57,888.00	62,229.60	66,896.82	71,914.08	77,307.64	83,105.71	89,338.64	96,039.04	604,719.52
Agroquímicos	57,632.76	61,955.22	66,601.86	71,597.00	76,966.77	82,739.28	88,944.73	95,615.58	602,053.19
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	396.00	425.70	457.63	491.95	528.85	568.51	611.15	656.98	4,136.76
Pago de servicios:	6,932.28	7,452.20	8,011.12	8,611.95	9,257.85	9,952.18	10,698.60	11,500.99	72,417.17
Análisis de agua	576.00	619.20	665.64	715.56	769.23	826.92	888.94	955.61	6,017.11
Electricidad	6,356.28	6,833.00	7,345.48	7,896.39	8,488.62	9,125.26	9,809.66	10,545.38	66,400.06
SUMAS TOTALES	1,183,540.59	219,667.96	236,143.06	253,853.79	272,892.82	293,359.78	315,361.77	339,013.90	3,113,833.67

Tabla XXVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	15,436,800.00
Tallos snapdragon/año	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	15,436,800.00
2.- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	385,920.00	463,104.00	555,724.80	666,869.76	800,243.71	960,292.45	1,152,350.95	1,382,821.13	6,367,326.81
Tallos snapdragon/año	385,920.00	463,104.00	555,724.80	666,869.76	800,243.71	960,292.45	1,152,350.95	1,382,821.13	6,367,326.81
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	167,381.04	179,934.62	193,429.71	207,936.94	223,532.21	240,297.13	258,319.41	277,693.37	1,748,524.44
Costos fijos:	6,932.28	7,452.20	8,011.12	8,611.95	9,257.85	9,952.18	10,698.60	11,500.99	72,417.17
Pago de servicios:	6,932.28	7,452.20	8,011.12	8,611.95	9,257.85	9,952.18	10,698.60	11,500.99	72,417.17
Análisis de agua	576.00	619.20	665.64	715.56	769.23	826.92	888.94	955.61	6,017.11
Electricidad	6,356.28	6,833.00	7,345.48	7,896.39	8,488.62	9,125.26	9,809.66	10,545.38	66,400.06
Costos variables:	160,448.76	172,482.42	185,418.60	199,324.99	214,274.37	230,344.95	247,620.82	266,192.38	1,676,107.27
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	115,520.76	124,184.82	133,498.68	143,511.08	154,274.41	165,844.99	178,283.37	191,654.62	1,206,772.72
Semillas	57,888.00	62,229.60	66,896.82	71,914.08	77,307.64	83,105.71	89,338.64	96,039.04	604,719.52
Agroquímicos	57,632.76	61,955.22	66,601.86	71,597.00	76,966.77	82,739.28	88,944.73	95,615.58	602,053.19
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	396.00	425.70	457.63	491.95	528.85	568.51	611.15	656.98	4,136.76
4.- UTILIDAD ANUAL (3-2)	218,538.96	283,169.38	362,295.09	458,932.82	576,711.50	719,995.32	894,031.53	1,105,127.76	4,618,802.36
Utilidad de la agrupación	218,538.96	283,169.38	362,295.09	458,932.82	576,711.50	719,995.32	894,031.53	1,105,127.76	4,618,802.36
Utilidad por socio	218,538.96	283,169.38	362,295.09	458,932.82	576,711.50	719,995.32	894,031.53	1,105,127.76	4,618,802.36
Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02

Punto de equilibrio (Cant. equilibrio: Ingresos = Costos)	11.865.40	11,875.04	12,022.42	12,283.42	12,643.21	13,092.73	13,626.76	14,242.71	98,290.81
---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Tabla XXVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	218,538.96	501,708.34	864,003.43	1,322,936.24	1,899,647.74	2,619,643.07	3,513,674.60	2,619,643.07
Flujo de efectivo	218,538.96	283,169.38	362,295.09	458,932.82	576,711.50	719,995.32	894,031.53	1,105,127.76	4,618,802.36
Disponibilidad de recursos	218,538.96	501,708.34	864,003.43	1,322,936.24	1,899,647.74	2,619,643.07	3,513,674.60	4,618,802.36	7,238,445.43
Saldo de fin de año	218,538.96	501,708.34	864,003.43	1,322,936.24	1,899,647.74	2,619,643.07	3,513,674.60	4,618,802.36	7,238,445.43
MÁXIMO NEGATIVO	218,538.96								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	4,618,802.36								
RENTABILIDAD FINANCIERA	21.13								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	1.48								
RELACIÓN/BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	2.64								

Tabla XXIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ARTc para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa	+	218,538.96	283,169.38	362,295.09	458,932.82	576,711.50	719,995.32	894,031.53	1,105,127.76
Inversiones totales	-	1,183,540.59	219,667.96	236,143.06	253,853.79	272,892.82	293,359.78	315,361.77	339,013.90
Incrementos del Capital de Trabajo	-	167,381.04	179,934.62	193,429.71	207,936.94	223,532.21	240,297.13	258,319.41	277,693.37
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-		-		-	1,748,524.44
Flujo de Efectivo de la Empresa		1,132,382.67	116,433.20	67,277.69	2,857.91	80,286.46	186,338.41	320,350.35	2,236,944.94
Tasa Interna de Retorno (TIR)	12.5%								
Valor Presente Neto (VPN)	1,649,271.55								

Tabla XXX. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto uso de SN para la producción snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				981,202.30
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Invernadero y Sistema hidropónico				883,964.50
Invernadero	67	Naves/Ha	3,430.00	229,810.00
Sistema hidropónico	2010	Mesas/Ha	300.00	603,000.00
Sustrato hidropónico	2010	Mesas/Ha	25.45	51,154.50
Riego				95,233.80
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	2010	Mesas/Ha	11.75	23,617.50
Sistema de bombeo	2010	Mesas/Ha	35.63	71,616.30
2.- CAPITAL DE TRABAJO:				354,220.56
Recursos humanos:				44,928.00
Horticultor	8	Horticultor/año	3,744.00	29,952.00
Ingeniero agrícola	2	Salario/año	7,488.00	14,976.00
Recursos materiales:				303,854.76
Semillas girasol	2894400	Semillas/año	0.09	246,024.00
Agroquímicos				57,830.76
Fertilizantes	2010	Mesas/Ha/año	28.48	57,236.76
Control de plagas	12	Ciclos/año	49.50	594.00
Pago de servicios:				5,437.80
Agua	12	Mensualidad	45.03	540.36
Análisis de agua	12	Mensualidad	72.00	864.00
Electricidad	12	Mensualidad	453.15	5,437.80
SUMAS TOTALES				1,335,422.86

Tabla XXXI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de uso de SN para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	981,202.30	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	1,000,132.83
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Invernadero y Sistema hidropónico	883,964.50	-	-	-	-	-	-	-	883,964.50
Invernadero	229,810.00	-	-	-	-	-	-	-	229,810.00
Sistema hidropónico	603,000.00	-	-	-	-	-	-	-	603,000.00
Sustrato hidropónico	51,154.50	-	-	-	-	-	-	-	51,154.50
Riego	95,233.80	-	-	-	-	-	-	-	95,233.80
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	23,617.50	-	-	-	-	-	-	-	23,617.50
Sistema de bombeo	71,616.30	-	-	-	-	-	-	-	71,616.30
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	355,624.92	382,296.79	410,969.05	441,791.73	474,926.11	510,545.56	548,836.48	589,999.22	3,714,989.85
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	303,854.76	326,643.87	351,142.16	377,477.82	405,788.66	436,222.80	468,939.51	504,109.98	3,174,179.56
Semillas	246,024.00	264,475.80	284,311.49	305,634.85	328,557.46	353,199.27	379,689.21	408,165.91	2,570,057.98
Agroquímicos	57,830.76	62,168.07	66,830.67	71,842.97	77,231.20	83,023.54	89,250.30	95,944.07	604,121.57
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	594.00	638.55	686.44	737.92	793.27	852.76	916.72	985.48	6,205.14
Pago de servicios:	6,842.16	7,355.32	7,906.97	8,499.99	9,137.49	9,822.81	10,559.52	11,351.48	71,475.74
Agua	540.36	580.89	624.45	671.29	721.63	775.76	833.94	896.48	5,644.80
Análisis de agua	864.00	928.80	998.46	1,073.34	1,153.85	1,240.38	1,333.41	1,433.42	9,025.66
Electricidad	5,437.80	5,845.64	6,284.06	6,755.36	7,262.01	7,806.67	8,392.17	9,021.58	56,805.28
SUMAS TOTALES	1,336,827.22	384,451.09	413,284.92	444,281.29	477,602.39	513,422.57	551,929.26	593,323.95	4,715,122.68

Tabla XXXII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de uso de SN para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	23,155,200.00
Tallos girasol/año	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	2,894,400.00	23,155,200.00
2.- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	578,880.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,550,990.21
Tallos girasol/año	578,880.00	694,656.00	833,587.20	1,000,304.64	1,200,365.57	1,440,438.68	1,728,526.42	2,074,231.70	9,550,990.21
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	355,624.92	382,296.79	410,969.05	441,791.73	474,926.11	510,545.56	548,836.48	589,999.22	3,714,989.85
Costos fijos:	5,978.16	6,426.52	6,908.51	7,426.65	7,983.65	8,582.42	9,226.10	9,918.06	62,450.08
Agua	540.36	580.89	624.45	671.29	721.63	775.76	833.94	896.48	5,644.80
Electricidad	5,437.80	5,845.64	6,284.06	6,755.36	7,262.01	7,806.67	8,392.17	9,021.58	56,805.28
Costos variables:	349,646.76	375,870.27	404,060.54	434,365.08	466,942.46	501,963.14	539,610.38	580,081.16	3,652,539.78
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	303,854.76	326,643.87	351,142.16	377,477.82	405,788.66	436,222.80	468,939.51	504,109.98	3,174,179.56
Semillas	246,024.00	264,475.80	284,311.49	305,634.85	328,557.46	353,199.27	379,689.21	408,165.91	2,570,057.98
Agroquímicos	57,830.76	62,168.07	66,830.67	71,842.97	77,231.20	83,023.54	89,250.30	95,944.07	604,121.57
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	594.00	638.55	686.44	737.92	793.27	852.76	916.72	985.48	6,205.14
Pago de servicios:	864.00	928.80	998.46	1,073.34	1,153.85	1,240.38	1,333.41	1,433.42	9,025.66
Análisis de agua	864.00	928.80	998.46	1,073.34	1,153.85	1,240.38	1,333.41	1,433.42	9,025.66

4.- UTILIDAD ANUAL	223,255.08	312,359.21	422,618.15	558,512.91	725,439.46	929,893.12	1,179,689.94	1,484,232.48	5,836,000.36
Utilidad de la agrupación	223,255.08	312,359.21	422,618.15	558,512.91	725,439.46	929,893.12	1,179,689.94	1,484,232.48	5,836,000.36
Utilidad por socio	223,255.08	312,359.21	422,618.15	558,512.91	725,439.46	929,893.12	1,179,689.94	1,484,232.48	5,836,000.36
Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Punto de equilibrio (Cant. equilibrio: Ingresos = Costos)	15,096.58	14,003.83	13,407.42	13,126.69	13,066.53	13,172.91	13,413.53	13,768.60	101,121.49

Tabla XXXIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de uso de SN para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	223,255.08	535,614.29	958,232.44	1,516,745.36	2,242,184.82	2,242,184.82	3,172,077.94	3,172,077.94
Flujo de efectivo	223,255.08	312,359.21	422,618.15	558,512.91	725,439.46	929,893.12	929,893.12	1,179,689.94	2,033,242.24
Disponibilidad de recursos	223,255.08	535,614.29	958,232.44	1,516,745.36	2,242,184.82	3,172,077.94	3,172,077.94	4,351,767.87	5,205,320.17
Saldo de fin de año	223,255.08	535,614.29	958,232.44	1,516,745.36	2,242,184.82	3,172,077.94	3,172,077.94	4,351,767.87	5,205,320.17
MÁXIMO NEGATIVO	223,255.08								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	2,033,242.24								
RENTABILIDAD FINANCIERA	9.11								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	0.43								
RELACIÓN/BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	0.55								

Tabla XXXIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de uso de SN para la producción de girasol (*H. annuus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa	+	223,255.08	312,359.21	422,618.15	558,512.91	725,439.46	929,893.12	1,179,689.94	1,484,232.48
Inversiones totales	-	1,336,827.22	384,451.09	413,284.92	444,281.29	477,602.39	513,422.57	551,929.26	593,323.95
Incrementos del Capital de Trabajo	-	355,624.92	382,296.79	410,969.05	441,791.73	474,926.11	510,545.56	548,836.48	589,999.22
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-	-	-		-	3,714,989.85
Flujo de Efectivo de la Empresa		1,113,572.14	454,388.67	401,635.82	327,560.10	227,089.03	94,075.01	78,924.20	4,015,899.17
Tasa Interna de Retorno (TIR)	8.2%								
Valor Presente Neto (VPN)	1,483,318.84								

Tabla XXXV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de uso SN para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				981,202.30
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Invernadero y Sistema hidropónico				883,964.50
Invernadero	67	Naves/Ha	3,430.00	229,810.00
Sistema hidropónico	2010	Mesas/Ha	300.00	603,000.00
Sustrato hidropónico	2010	Mesas/Ha	25.45	51,154.50
Riego				95,233.80
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	2010	Mesas/Ha	11.75	23,617.50
Sistema de bombeo	2010	Mesas/Ha	35.63	71,616.30
2.- CAPITAL DE TRABAJO:				195,028.56
Recursos humanos:				44,928.00
Horticultor	8	Horticultor/año	3,744.00	29,952.00
Ingeniero agrícola	2	Salario/año	7,488.00	14,976.00
Recursos materiales:				144,662.76
Semillas snapdragon	2894400	Semillas/año	0.03	86,832.00
Agroquímicos				57,830.76
Fertilizantes	2010	Mesas/Ha/año	28.48	57,236.76
Control de plagas	12	Ciclos/año	49.50	594.00
Pago de servicios:				5,437.80
Agua	12	Mensualidad	45.03	540.36
Análisis de agua	8	Mensualidad	72.00	576.00
Electricidad	12	Mensualidad	453.15	5,437.80
SUMAS TOTALES				1,176,230.86

Tabla XXXVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	981,202.30	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	1,000,132.83
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Invernadero y Sistema hidropónico	883,964.50	-	-	-	-	-	-	-	883,964.50
Invernadero	229,810.00	-	-	-	-	-	-	-	229,810.00
Sistema hidropónico	603,000.00	-	-	-	-	-	-	-	603,000.00
Sustrato hidropónico	51,154.50	-	-	-	-	-	-	-	51,154.50
Riego	95,233.80	-	-	-	-	-	-	-	95,233.80
Sistema de Riego (cinta de riego, goteros, válvulas)	23,617.50	-	-	-	-	-	-	-	23,617.50
Sistema de bombeo	71,616.30	-	-	-	-	-	-	-	71,616.30
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	196,144.92	210,855.79	226,669.97	243,670.22	261,945.49	281,591.40	302,710.75	325,414.06	2,049,002.61
Recursos humanos:	44,928.00	48,297.60	51,919.92	55,813.91	59,999.96	64,499.95	69,337.45	74,537.76	469,334.56
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	16,099.20	17,306.64	18,604.64	19,999.99	21,499.98	23,112.48	24,845.92	156,444.85
Recursos materiales:	144,662.76	155,512.47	167,175.90	179,714.09	193,192.65	207,682.10	223,258.26	240,002.63	1,511,200.86
Semillas	86,832.00	93,344.40	100,345.23	107,871.12	115,961.46	124,658.57	134,007.96	144,058.55	907,079.29
Agroquímicos	57,830.76	62,168.07	66,830.67	71,842.97	77,231.20	83,023.54	89,250.30	95,944.07	604,121.57
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	594.00	638.55	686.44	737.92	793.27	852.76	916.72	985.48	6,205.14
Pago de servicios:	6,554.16	7,045.72	7,574.15	8,142.21	8,752.88	9,409.34	10,115.05	10,873.67	68,467.19
Agua	540.36	580.89	624.45	671.29	721.63	775.76	833.94	896.48	5,644.80
Análisis de agua	576.00	619.20	665.64	715.56	769.23	826.92	888.94	955.61	6,017.11
Electricidad	5,437.80	5,845.64	6,284.06	6,755.36	7,262.01	7,806.67	8,392.17	9,021.58	56,805.28
SUMAS TOTALES	1,177,347.22	213,010.09	228,985.85	246,159.78	264,621.77	284,468.40	305,803.53	328,738.80	3,049,135.43

Tabla XXXVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	15,436,800.00
Tallos snapdragon/año	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	1,929,600.00	15,436,800.00
2- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	385,920.00	463,104.00	555,724.80	666,869.76	800,243.71	960,292.45	1,152,350.95	1,382,821.13	6,367,326.81
Tallos snapdragon/año	385,920.00	463,104.00	555,724.80	666,869.76	800,243.71	960,292.45	1,152,350.95	1,382,821.13	6,367,326.81
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	196,144.92	210,466.54	225,842.82	242,351.88	260,077.67	279,110.35	299,546.84	321,491.22	2,035,032.23
Costos fijos:	5,978.16	6,426.52	6,908.51	7,426.65	7,983.65	8,582.42	9,226.10	9,918.06	62,450.08
Pago de servicios:	5,437.80	5,845.64	6,284.06	6,755.36	7,262.01	7,806.67	8,392.17	9,021.58	56,805.28
Agua	540.36	580.89	624.45	671.29	721.63	775.76	833.94	896.48	5,644.80
Electricidad	5,437.80	5,845.64	6,284.06	6,755.36	7,262.01	7,806.67	8,392.17	9,021.58	56,805.28
Costos variables:	379,365.84	456,058.28	548,150.65	658,727.55	791,490.83	950,883.11	1,142,235.90	1,371,947.46	3,784,676.26
Recursos humanos:	44,928.00	47,923.20	51,124.32	54,545.87	58,203.39	62,113.56	66,294.24	70,764.58	455,897.16
Horticultor	29,952.00	32,198.40	34,613.28	37,209.28	39,999.97	42,999.97	46,224.97	49,691.84	312,889.70
Ingeniero agrícola	14,976.00	15,724.80	16,511.04	17,336.59	18,203.42	19,113.59	20,069.27	21,072.74	143,007.45
Recursos materiales:	144,662.76	155,497.62	167,144.35	179,663.80	193,121.39	207,587.45	223,137.55	239,852.97	1,510,667.89
Semillas	86,832.00	93,344.40	100,345.23	107,871.12	115,961.46	124,658.57	134,007.96	144,058.55	907,079.29
Agroquímicos	57,830.76	62,153.22	66,799.12	71,792.68	77,159.94	82,928.88	89,129.60	95,794.42	603,588.60
Fertilizantes	57,236.76	61,529.52	66,144.23	71,105.05	76,437.93	82,170.77	88,333.58	94,958.60	597,916.43
Control de plagas	594.00	623.70	654.89	687.63	722.01	758.11	796.02	835.82	5,672.17
Pago de servicios:	189,775.08	252,637.46	329,881.98	424,517.88	540,166.05	681,182.10	852,804.11	1,061,329.92	4,332,294.57
Análisis de agua	576.00	619.20	665.64	715.56	769.23	826.92	888.94	955.61	6,017.11
4.- UTILIDAD ANUAL	189,775.08	252,637.46	329,881.98	424,517.88	540,166.05	681,182.10	852,804.11	1,061,329.92	4,332,294.57
Utilidad de la agrupación	189,775.08	252,637.46	329,881.98	424,517.88	540,166.05	681,182.10	852,804.11	1,061,329.92	4,332,294.57
Utilidad por socio	189,775.08	252,637.46	329,881.98	424,517.88	540,166.05	681,182.10	852,804.11	1,061,329.92	4,332,294.57

Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0,02
Punto de equilibrio (Cant. equilibrio: Ingresos = Costos)	352,004.15	422,404.98	506,885.97	608,263.17	729,915.80	875,898.96	1,051,078.75	1,261,294.50	153,965.87

Tabla XXXVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO	AÑOS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	189,775.08	442,412.54	772,294.52	1,196,812.40	1,736,978.45	2,418,160.55	3,270,964.66	2,418,160.55
Flujo de efectivo	189,775.08	252,637.46	329,881.98	424,517.88	540,166.05	681,182.10	852,804.11	1,061,329.92	4,332,294.57
Disponibilidad de recursos	189,775.08	442,412.54	772,294.52	1,196,812.40	1,736,978.45	2,418,160.55	3,270,964.66	4,332,294.57	
Saldo de fin de año	189,775.08	442,412.54	772,294.52	1,196,812.40	1,736,978.45	2,418,160.55	3,270,964.66	4,332,294.57	
MÁXIMO NEGATIVO	189.775.08								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	4,332,294.57								
RENTABILIDAD FINANCIERA	22.83								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	1.42								
RELACIÓN/BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	2.13								

Tabla XXXIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de uso de SN para la producción de snapdragon (*A. majus*) en sistemas hidropónicos.

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa CON	+	189,775.08	252,637.46	329,881.98	424,517.88	540,166.05	681,182.10	852,804.11	1,061.329.92
Inversiones totales	-	1,177,347.22	213,010.09	228,985.85	246,159.78	264,621.77	284,468.40	305,803.53	328,738.80
Incrementos del Capital de Trabajo	-	196,144.92	210,855.79	226,669.97	243,670.22	261,945.49	281,591.40	302,710.75	325,414.06
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-		-		-	2,049,002.61
Flujo de Efectivo de la Empresa		- 987,572.14	- 171,228.42	- 125,773.84	- 65,312.13	13,598.79	115,122.30	244,289.82	2,456,179.66
Tasa Interna de Retorno (TIR)	12.3%								
Valor Presente Neto (VPN)	1,620,386.80								

Tabla XL. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (*H. annuus*).

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				15,399.00
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Acondicionamiento del terreno (preparación)				5,400.00
Subsuelo	1	Hectárea	1,800.00	1,800.00
Discada	1	Hectárea	1,800.00	1,800.00
Encamadora	1	Hectárea	900.00	900.00
Emplasticadora	1	Hectárea	900.00	900.00
Riego				7,995.00
Rollos de cinta	6	Pieza	180.00	1,080.00
Flat tube	1	Pieza	180.00	180.00
Instalación sistema de riego	15	Días jornalero	7.00	105.00
Sistema de bombeo-reservorio 4500 m ³	1	Sistema	6,630.00	6,630.00
2.- CAPITAL DE TRABAJO:				182,150.00
Recursos humanos:				36,500.00
Jornales agricultores	5	Ciclos/año	2,500.00	12,500.00
Ingeniero agrícola	12	Salario/año	2,000.00	24,000.00
Recursos materiales:				107,250.00
Semillas				102,000.00
Semillas girasol	1200000	Semillas/año	0.09	102,000.00
Agroquímicos				5,250.00
Fertilizantes	5	Ciclos/año	500.00	2,500.00
Control de plagas	5	Ciclos/año	550.00	2,750.00
Pago de servicios:				38,400.00
Electricidad	12	Mensualidad	2,500.00	30,000.00
Tratamiento agua residual - Ozono	10500	ART/año	0.80	8,400.00
SUMAS TOTALES				197,549.00

Tabla XLI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (*H. annuus*).

CONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	15,399.00	9,426.68	10,133.68	10,893.70	11,710.73	12,589.03	13,533.21	14,548.20	98,234.23
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Acondicionamiento del terreno (preparación)	5,400.00	5,805.00	6,240.38	6,708.40	7,211.53	7,752.40	8,333.83	8,958.87	56,410.40
Subsuelo	1,800.00	1,935.00	2,080.13	2,236.13	2,403.84	2,584.13	2,777.94	2,986.29	18,803.47
Discada	1,800.00	1,935.00	2,080.13	2,236.13	2,403.84	2,584.13	2,777.94	2,986.29	18,803.47
Encamadora	900.00	967.50	1,040.06	1,118.07	1,201.92	1,292.07	1,388.97	1,493.14	9,401.73
Emplasticadora	900.00	967.50	1,040.06	1,118.07	1,201.92	1,292.07	1,388.97	1,493.14	9,401.73
Riego	7,995.00	1,467.38	1,577.43	1,695.74	1,822.92	1,959.63	2,106.61	2,264.60	20,889.30
Rollos de cinta	1,080.00	1,161.00	1,248.08	1,341.68	1,442.31	1,550.48	1,666.77	1,791.77	11,282.08
Flat tube	180.00	193.50	208.01	223.61	240.38	258.41	277.79	298.63	1,880.35
Instalación sistema de riego	105.00	112.88	121.34	130.44	140.22	150.74	162.05	174.20	1,096.87
Sistema de bombeo-reservorio 4500 m3	6,630.00	-	-	-	-	-	-	-	6,630.00
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	182,150.00	195,811.25	210,497.09	226,284.38	243,255.70	261,499.88	281,112.37	302,195.80	1,902,806.48
Recursos humanos:	36,500.00	39,237.50	42,180.31	45,343.84	48,744.62	52,400.47	56,330.51	60,555.29	381,292.54
Jornales agricultores	12,500.00	13,437.50	14,445.31	15,528.71	16,693.36	17,945.37	19,291.27	20,738.11	130,579.64
Ingeniero agricola	24,000.00	25,800.00	27,735.00	29,815.13	32,051.26	34,455.10	37,039.24	39,817.18	250,712.90
Recursos materiales:	107,250.00	115,293.75	123,940.78	133,236.34	143,229.07	153,971.25	165,519.09	177,933.02	1,120,373.29
Semillas	102,000.00	109,650.00	117,873.75	126,714.28	136,217.85	146,434.19	157,416.76	169,223.01	1,065,529.84
Agroquímicos	5,250.00	5,643.75	6,067.03	6,522.06	7,011.21	7,537.05	8,102.33	8,710.01	54,843.45
Fertilizantes	2,500.00	2,687.50	2,889.06	3,105.74	3,338.67	3,589.07	3,858.25	4,147.62	26,115.93
Control de plagas	2,750.00	2,956.25	3,177.97	3,416.32	3,672.54	3,947.98	4,244.08	4,562.39	28,727.52
Pago de servicios:	38,400.00	41,280.00	44,376.00	47,704.20	51,282.02	55,128.17	59,262.78	63,707.49	401,140.65
Electricidad	30,000.00	32,250.00	34,668.75	37,268.91	40,064.07	43,068.88	46,299.05	49,771.47	313,391.13
Tratamiento agua residual - Ozono	8,400.00	9,030.00	9,707.25	10,435.29	11,217.94	12,059.29	12,963.73	13,936.01	87,749.52

SUMAS TOTALES	197,549.00	205,237.93	220,630.77	237,178.08	254,966.43	274,088.92	294,645.58	316,744.00	2,001,040.71
---------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	--------------

Tabla XLII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (*H. annuus*)

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	1,200,00.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	9,600,000.00
Tallos girasol/año	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	1,200,000.00	9,600,000.00
2.- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	240,000.00	288,000.00	345,600.00	414,720.00	497,664.00	597,196.80	716,636.16	859,963.39	3,959,780.35
Tallos girasol/año	240,000.00	288,000.00	345,600.00	414,720.00	497,664.00	597,196.80	716,636.16	859,963.39	3,959,780.35
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	182,150.00	195,811.25	210,497.09	226,284.38	243,255.70	261,499.88	281,112.37	302,195.80	1,902,806.48
Costos fijos:	38,400.00	41,280.00	44,376.00	47,704.20	51,282.02	55,128.17	59,262.78	63,707.49	401,140.65
Pago de servicios:	38,400.00	41,280.00	44,376.00	47,704.20	51,282.02	55,128.17	59,262.78	63,707.49	401,140.65
Electricidad	30,000.00	32,250.00	34,668.75	37,268.91	40,064.07	43,068.88	46,299.05	49,771.47	313,391.13
Tratamiento agua residual - Ozono	8,400.00	9,030.00	9,707.25	10,435.29	11,217.94	12,059.29	12,963.73	13,936.01	87,749.52
Costos variables:	143,750.00	154,531.25	166,121.09	178,580.18	191,973.69	206,371.72	221,849.59	238,488.31	1,501,665.83
Recursos humanos:	36,500.00	39,237.50	42,180.31	45,343.84	48,744.62	52,400.47	56,330.51	60,555.29	381,292.54
Jornales agricultores (año)	12,500.00	13,437.50	14,445.31	15,528.71	16,693.36	17,945.37	19,291.27	20,738.11	130,579.64
Ingeniero agrícola (año)	24,000.00	25,800.00	27,735.00	29,815.13	32,051.26	34,455.10	37,039.24	39,817.18	250,712.90
Recursos materiales:	107,250.00	115,293.75	123,940.78	133,236.34	143,229.07	153,971.25	165,519.09	177,933.02	1,120,373.29
Semillas	102,000.00	109,650.00	117,873.75	126,714.28	136,217.85	146,434.19	157,416.76	169,223.01	1,065,529.84
Agroquímicos	5,250.00	5,643.75	6,067.03	6,522.06	7,011.21	7,537.05	8,102.33	8,710.01	54,843.45
Fertilizantes	2,500.00	2,687.50	2,889.06	3,105.74	3,338.67	3,589.07	3,858.25	4,147.62	26,115.93
Control de plagas	2,750.00	2,956.25	3,177.97	3,416.32	3,672.54	3,947.98	4,244.08	4,562.39	28,727.52
4.- UTILIDAD ANUAL	57,850.00	92,188.75	135,102.91	188,435.62	254,408.30	335,696.92	435,523.79	557,767.59	2,056,973.87
Utilidad de la agrupación	57,850.00	92,188.75	135,102.91	188,435.62	254,408.30	335,696.92	435,523.79	557,767.59	2,056,973.87
Utilidad por socio	57,850.00	92,188.75	135,102.91	188,435.62	254,408.30	335,696.92	435,523.79	557,767.59	2,056,973.87
Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	0.40	0.31	0.25	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10	0.16
Punto de equilibrio (Cant. equilibrio: Ingresos = Costos)	95,750.65	89,074.33	85,449.29	83,780.39	83,487.15	84,238.10	85,834.69	88,154.95	646,198.07

Tabla XLIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (*H. annuus*)

CONCEPTO	AÑOS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	57,850.00	150,038.75	285,141.66	473,577.28	727,985.58			1,063,682.49
Flujo de efectivo	57,850.00	92,188.75	135,102.91	188,435.62	254,408.30	335,696.92	435,523.79	557,767.59	2,056,973.87
Disponibilidad de recursos	57,850.00	150,038.75	285,141.66	473,577.28	727,985.58	1,063,682.49	435,523.79	557,767.59	3,120,656.37
Necesidad de financiamiento	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo de fin de año	57,850.00	150,038.75	285,141.66	473,577.28	727,985.58	1,063,682.49	435,523.79	557,767.59	3,120,656.37
MÁXIMO NEGATIVO	57,850.00								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	2,056,973.87								
RENTABILIDAD FINANCIERA	35.56								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	1.03								
RELACIÓN/BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	1.08								

Tabla XLIV. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de girasol (*H. annuus*).

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa CON	+	57,850.00	92,188.75	135,102.91	188,435.62	254,408.30	335,696.92	435,523.79	557,767.59
Inversiones totales	-	197,549.00	205,237.93	220,630.77	237,178.08	254,966.43	274,088.92	294,645.58	316,744.00
Incrementos del Capital de Trabajo	-	182,150.00	195,811.25	210,497.09	226,284.38	243,255.70	261,499.88	281,112.37	302,195.80
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-	-	-	-	-	1,902.806.48
Flujo de Efectivo de la Empresa		-321,849.00	-308,860.43	-296,024.96	-275,026.83	243,813.84	199,891.88	-140,234.17	1.,841.634.27
Tasa Interna de Retorno (TIR)	0.7%								
Valor Presente Neto (VPN)	(146,991.49)								

Tabla XLV. Presupuesto de inversión inicial para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (*A. majus*).

CONCEPTO DE GASTO	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	MONTO DE INVERSIÓN TOTAL
1.- INVERSIÓN FIJA:				245,209.00
Renta de tierra	12	Renta/Mes	167.00	2,004.00
Invernadero	67	Naves/Ha	3,430.00	229,810.00
Acondicionamiento del terreno (preparación)				5,400.00
Subsuelo	1	Hectárea	1,800.00	1,800.00
Discada	1	Hectárea	1,800.00	1,800.00
Encamadora	1	Hectárea	900.00	900.00
Emplastadora	1	Hectárea	900.00	900.00
Riego				7,995.00
Rollos de cinta	6	Pieza	180.00	1,080.00
Flat tube	1	Pieza	180.00	180.00
Instalación proyecot de riego	15	Días jornalero	7.00	105.00
Sistema de bombeo-reservorio 4500 m3	1	Sistema	6,630.00	6,630.00
2.- CAPITAL DE TRABAJO:				122,340.00
Recursos humanos:				31,500.00
Jornales agricultores	3	Ciclos/año	2,500.00	7,500.00
Ingeniero agricola	12	Salario/año	2,000.00	24,000.00
Recursos materiales:				55,800.00
Semillas				52,650.00
Semillas snapdragon	1755000	Semillas/año	0.03	52,650.00
Agroquímicos				3,150.00
Fertilizantes	3	Ciclos/año	500.00	1,500.00
Control de plagas	3	Ciclos/año	550.00	1,650.00
Pago de servicios:				35,040.00
Electricidad	12	Mensualidad	2,500.00	30,000.00
Tratamiento agua residual – Ozono	6300	ART/año	0.80	5,040.00
SUMAS TOTALES				367,549.00

Tabla XLVI. Programación de las inversiones anuales para el proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (*A. majus*).

ONCEPTO DE GASTO	AÑOS DE VIDA DEL PROYECTO								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- INVERSIÓN FIJA:	245,209.00	9,426.68	10,133.68	10,893.70	11,710.73	12,589.03	13,533.21	14,548.20	328,044.23
Renta de tierra	2,004.00	2,154.30	2,315.87	2,489.56	2,676.28	2,877.00	3,092.78	3,324.73	20,934.53
Invernadero	229,810.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Acondicionamiento del terreno (preparación)	5,400.00	5,805.00	6,240.38	6,708.40	7,211.53	7,752.40	8,333.83	8,958.87	56,410.40
Subsuelo	1,800.00	1,935.00	2,080.13	2,236.13	2,403.84	2,584.13	2,777.94	2,986.29	18,803.47
Discada	1,800.00	1,935.00	2,080.13	2,236.13	2,403.84	2,584.13	2,777.94	2,986.29	18,803.47
Encamadora	900.00	967.50	1,040.06	1,118.07	1,201.92	1,292.07	1,388.97	1,493.14	9,401.73
Emplastadora	900.00	967.50	1,040.06	1,118.07	1,201.92	1,292.07	1,388.97	1,493.14	9,401.73
Riego	7,995.00	1,467.38	1,577.43	1,695.74	1,822.92	1,959.63	2,106.61	2,264.60	20,889.30
Rollos de cinta	1,080.00	1,161.00	1,248.08	1,341.68	1,442.31	1,550.48	1,666.77	1,791.77	11,282.08
Flat tube	180.00	193.50	208.01	223.61	240.38	258.41	277.79	298.63	1,880.35
Instalación proyecot de riego	105.00	112.88	121.34	130.44	140.22	150.74	162.05	174.20	1,096.87
Sistema de bombeo-reservorio 4500 m ³	6,630.00	-	-	-	-	-	-	-	6,630.00
2.- CAPITAL DE TRABAJO:	122,340.00	131,515.50	141,379.16	151,982.60	163,381.29	175,634.89	188,807.51	202,968.07	1,278,009.03
Recursos humanos:	31,500.00	33,862.50	36,402.19	39,132.35	42,067.28	45,222.32	48,614.00	52,260.05	329,060.69
Jornales agricultores	7,500.00	8,062.50	8,667.19	9,317.23	10,016.02	10,767.22	11,574.76	12,442.87	33,546.91
Ingeniero agricola	24,000.00	25,800.00	27,735.00	29,815.13	32,051.26	34,455.10	37,039.24	39,817.18	107,350.13
Recursos materiales:	55,800.00	59,985.00	64,483.88	69,320.17	74,519.18	80,108.12	86,116.23	92,574.94	582,907.50
Semillas	52,650.00	56,598.75	60,843.66	65,406.93	70,312.45	75,585.88	81,254.83	87,348.94	235,499.34
Agroquímicos	3,150.00	3,386.25	3,640.22	3,913.24	4,206.73	4,522.23	4,861.40	5,226.00	14,089.70
Fertilizantes	1,500.00	1,612.50	1,733.44	1,863.45	2,003.20	2,153.44	2,314.95	2,488.57	6,709.38
Control de plagas	1,650.00	1,773.75	1,906.78	2,049.79	2,203.52	2,368.79	2,546.45	2,737.43	7,380.32
Pago de servicios:	35,040.00	37,668.00	40,493.10	43,530.08	46,794.84	50,304.45	54,077.29	58,133.08	366,040.84
Electricidad	30,000.00	32,250.00	34,668.75	37,268.91	40,064.07	43,068.88	46,299.05	49,771.47	134,187.66

Tratamiento agua residual – Ozono	5,040.00	5,418.00	5,824.35	6,261.18	6,730.76	7,235.57	7,778.24	8,361.61	22,543.53
SUMAS TOTALES	367,549.00	140,942.18	151,512.84	162,876.30	175,092.02	188,223.93	202,340.72	217,516.27	1,606,053.26

Tabla XLVII. Proyección de los Ingresos y Egresos del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (*A. majus*).

CONCEPTO	AÑOS								TOTALES
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.- CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN:	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	14,040,000.00
Tallos snapdragon/año	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	1,755,000.00	14,040,000.00
2.- CÁLCULO DE LOS INGRESOS:	351,000.00	421,200.00	505,440.00	606,528.00	727,833.60	873,400.32	1,048,080.38	1,257,696.46	5,791,178.76
Tallos snapdragon/año	351,000.00	421,200.00	505,440.00	606,528.00	727,833.60	873,400.32	1,048,080.38	1,257,696.46	5,791,178.76
3.- CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN:	141,300.00	151,297.50	162,014.81	173,504.42	185,822.68	199,030.08	213,191.56	228,376.87	1,454,537.93
Costos fijos:	54,000.00	58,050.00	62,403.75	67,084.03	72,115.33	77,523.98	83,338.28	89,588.65	564,104.03
Pago de servicios:	54,000.00	58,050.00	62,403.75	67,084.03	72,115.33	77,523.98	83,338.28	89,588.65	564,104.03
Tratamiento agua residual – Ozono	24,000.00	25,800.00	27,735.00	29,815.13	32,051.26	34,455.10	37,039.24	39,817.18	250,712.90
Electricidad	30,000.00	32,250.00	34,668.75	37,268.91	40,064.07	43,068.88	46,299.05	49,771.47	313,391.13
Costos variables:	87,300.00	93,247.50	99,611.06	106,420.39	113,707.35	121,506.09	129,853.28	138,788.22	890,433.90
Recursos humanos:	31,500.00	33,262.50	35,127.19	37,100.23	39,188.17	41,397.98	43,737.06	46,213.28	307,526.40
Jornales agricultores	7,500.00	8,062.50	8,667.19	9,317.23	10,016.02	10,767.22	11,574.76	12,442.87	78,347.78
Ingeniero agricola	24,000.00	25,200.00	26,460.00	27,783.00	29,172.15	30,630.76	32,162.30	33,770.41	229,178.61
Recursos materiales:	55,800.00	59,985.00	64,483.88	69,320.17	74,519.18	80,108.12	86,116.23	92,574.94	582,907.50
Semillas	52,650.00	56,598.75	60,843.66	65,406.93	70,312.45	75,585.88	81,254.83	87,348.94	235,499.34
Agroquímicos	3,150.00	3,386.25	3,640.22	3,913.24	4,206.73	4,522.23	4,861.40	5,226.00	32,906.07
Fertilizantes	1,500.00	1,612.50	1,733.44	1,863.45	2,003.20	2,153.44	2,314.95	2,488.57	15,669.56
Control de plagas	1,650.00	1,773.75	1,906.78	2,049.79	2,203.52	2,368.79	2,546.45	2,737.43	17,236.51

4.- UTILIDAD ANUAL	209,700.00	269,902.50	343,425.19	433,023.58	542,010.92	674,370.24	834,888.82	1,029,319.59	4,336,640.83
Utilidad de la agrupación	209,700.00	269,902.50	343,425.19	433,023.58	542,010.92	674,370.24	834,888.82	1,029,319.59	4,336,640.83
Utilidad por socio	209,700.00	269,902.50	343,425.19	433,023.58	542,010.92	674,370.24	834,888.82	1,029,319.59	4,336,640.83
Punto de equilibrio (% de capacidad de operación)	0.20	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.12
Punto de equilibrio (Cant. Equilibrio: Ingresos = Costos)	71,877.13	74,555.49	77,720.80	81,359.18	85,467.71	90,051.86	95,123.76	100,701.14	666,598.12

Tabla XLVIII. Cálculo de las depreciaciones y amortizaciones del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (A. *majus*).

CONCEPTO	AÑOS								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Saldo inicial	-	228,660.00	518,344.50	882,405.34	1,336,950.74	1,901,403.04	2,599,168.47	3,458,441.35	
Flujo de efectivo	228,660.00	289,684.50	364,060.84	454,545.40	564,452.31	697,765.43	859,272.88	1,054,728.39	4,513,169.74
Disponibilidad de recursos	228,660.00	518,344.50	882,405.34	1,336,950.74	1,901,403.04	2,599,168.47	3,458,441.35	4,513,169.74	
Saldo de fin de año	228,660.00	518,344.50	882,405.34	1,336,950.74	1,901,403.04	2,599,168.47	3,458,441.35	4,513,169.74	
MÁXIMO NEGATIVO	228,660.00								
UTILIDAD DEL PROYECTO EN SU VIDA ÚTIL	4,513,169.74								
RENTABILIDAD FINANCIERA	19.74								
RENTABILIDAD DEL PROYECTO	12.28								
BENEFICIO/COSTOS (Rentabilidad de operación)	3.53								

Tabla XLIX. Estimación de los índices de rentabilidad del proyecto de reúso de ART para la producción tradicional de Snapdragon (*A. majus*).

CONCEPTO / AÑO		1	2	3	4	5	6	7	8
Utilidad de la Empresa CON	+	209,700.00	269,902.50	343,425.19	433,023.58	542,010.92	674,370.24	834,888.82	1,029,319.59
Inversiones totales	-	367,549.00	140,942.18	151,512.84	162,876.30	175,092.02	188,223.93	202,340.72	217,516.27
Incrementos del Capital de Trabajo	-	122,340.00	131,515.50	141,379.16	151,982.60	163,381.29	175,634.89	188,807.51	202,968.07
Recuperación Capital de Trabajo	+	-	-	-	-	-	-	-	1,278,009.03
Flujo de Efectivo de la Empresa		- 280,189.00	- 2,555.17	50,533.19	118,164.68	203,537.60	310,511.43	443,740.59	1,886,844.27
Tasa Interna de Retorno (TIR)	50.6%								
Valor Presente Neto (VPN)	1,961,381.98								