

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas**



“Producción de hortalizas bajo un sistema de acuaponía utilizando energía renovable en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)”

Presentada por:

Jonathan Alexander Díaz Trigueros

San Salvador, El Salvador, Centro América, abril 2024.

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas
Departamento de Fitotecnia**



Pasantía profesional:

“Producción de hortalizas bajo un sistema de acuaponía utilizando energía renovable en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)”

Presentada por:

Jonathan Alexander Díaz Trigueros

Requisito para optar al título de:

Ingeniero Agrónomo

San Salvador, El Salvador, Centro América, abril 2024.

Universidad de El Salvador

Rector:

Ing. M. Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

Secretario General:

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

Facultad de Ciencias Agronómicas

Decano:

Ing. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

Secretario:

Ing. M. Sc. Edgar Geovany Reyes Melara

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

Ing. M. Sc. Julio César Ortiz Pavón

ASESORES

Ing. M. Sc. Oscar Alonso Rodríguez Gracias

Ing. Agr. M. Sc. Helmer Esquivel

**COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADO DEL
DEPARTAMENTO**

Ing. M. Sc. Oscar Alonso Rodríguez Gracias

Índice de contenido

3.	RESUMEN.....	x
4.	INTRODUCCIÓN.....	1
5.	INFORMACIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA.....	3
5.1.	Datos generales	3
5.1.1.	Localización.....	3
5.1.2.	Antecedentes.....	4
5.1.3.	Recursos	5
5.1.3.1.	Naturales.....	5
5.1.3.2.	Instalaciones y equipos.....	5
5.1.3.3.	Humanos.....	5
5.2.	Actividades actuales	6
5.2.1.	Producción principal y otras	6
5.2.2.	Situación técnica.....	7
5.2.3.	Situación administrativa	8
5.2.4.	Generales de comercialización	9
6.	ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA EN SECTOR	10
7.	METODOLOGÍA.....	11
7.1.	Metodología de oficina	11
7.2.	Metodología de campo.....	14
7.2.1.	Adquisición y compra de materiales y equipos	14
7.2.2.	Actividades generales.....	14
7.2.3.	Ciclos de producción de hortalizas.....	15
7.2.4.	Programa para alimentación de peces	15
7.2.5.	Montaje de sistemas acuapónicos.....	16

7.2.5.1.	Montaje del primer modelo (Sistema horizontal)	16
7.2.5.2.	Montaje del segundo modelo (Sistema Vertical Tipo “A”)	18
7.2.5.3.	Montaje del tercer modelo (Sistema de Sustrato)	18
7.2.5.4.	Sustitución del sistema horizontal (Sistema vertical de 5 niveles)	19
7.2.5.5.	Sustitución del sistema de sustrato (Sistema combinado).....	20
7.2.6.	Siembra de alevines	20
7.2.7.	Alimentación de tilapias	21
7.2.8.	Trasplante de hortalizas	21
7.2.9.	Prácticas de manejo agronómico	23
7.2.9.1.	Monitoreo de plagas y enfermedades.....	23
7.2.9.2.	Nutrición de las plantas	24
7.2.10.	Mantenimiento de sistemas de biofiltración	25
7.2.11.	Cosecha de hortalizas.....	26
7.2.12.	Toma de datos de hortalizas.....	26
7.2.13.	Cosecha de tilapias.....	27
7.2.14.	Toma de datos de tilapias.....	27
7.2.15.	Monitoreo de variables climáticas	28
7.2.16.	Instalación de sistema fotovoltaico y luces led.....	28
7.2.17.	Elaboración de sistema de cosecha de agua.....	29
7.2.18.	Visitas al invernadero	30
7.2.19.	Actividades emergentes	30
7.3.	Metodología estadística	35
7.4.	Metodología económica.....	36
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
8.1.	Factores climáticos en el invernadero.....	38

8.2.	Parámetros fisicoquímicos del agua	38
8.3.	Parámetros productivos de la tilapia	41
8.4.	Parámetros productivos de las hortalizas	45
8.5.	Material didáctico	49
9.	CONCLUSIONES	50
10.	RECOMENDACIONES	52
11.	BIBLIOGRAFÍA	53
12.	ANEXOS	56

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación de la Representación IICA El Salvador	3
Figura 2.	Pasante en actividades de oficina y diseño original de los sistemas acuapónicos.	11
Figura 3.	Elaboración de presupuestos.	12
Figura 4.	QR de cartillas de los modelos acuapónicos e información relevante.	12
Figura 5.	Adecuación del espacio del invernadero del IICA (50 metros cuadrados).	14
Figura 6.	Actividades de limpieza en el invernadero de la sede de la Institución.	15
Figura 7.	Configuración e instalación de alimentadores automáticos para peces.	16
Figura 8.	Instalación de sistema de oxigenación para tilapias.	17
Figura 9.	Elaboración de sistema de biofiltración	17
Figura 10.	Tubos de producción para la colocación de plantas en modelo horizontal.	17
Figura 11.	Montaje de tubos de producción para modelo vertical tipo “A”	18
Figura 12.	Montaje de modelo de sustrato para producción de hortalizas de fruto.	19
Figura 13.	Elaboración de modelo vertical de cinco niveles.	19
Figura 14.	Elaboración de modelo combinado (Sustrato, de torre y cama flotante).	20
Figura 15.	Siembra y reposición de alevines de tilapia en sistemas acuapónicos.	20

Figura 16. Mortalidad de tilapias por altas concentraciones de amoníaco.....	21
Figura 17. Trasplante de hortalizas con cascajo rojo.	22
Figura 18. Trasplantes de hortaliza en esponja, segundo ciclo de producción.....	23
Figura 19. Elaboración y compra de plantines de hortalizas.....	23
Figura 20. Monitoreo de plagas y enfermedades de diferentes hortalizas establecidas.	24
Figura 21. Eliminación de plagas y enfermedades en invernadero	24
Figura 22. Aplicación de foliares convencionales y biofertilizantes.....	25
Figura 23. Limpieza y mantenimiento general de sistemas acuapónicos.....	25
Figura 24. Cosechas de hortalizas de hoja, fruto y tubérculo de los modelos acuapónicos. 26	
Figura 25. Toma de datos de las hortalizas cosechadas.	27
Figura 26. Cosecha de tilapias de modelo acuapónico horizontal.....	27
Figura 27. Toma de datos (peso en gramos) de tilapias.	28
Figura 28. Sensor de temperatura y humedad relativa LogTag.....	28
Figura 29. Instalación de sistema fotovoltaico y de luces led.	29
Figura 30. Colocación de tanque y canales para cosecha de agua.	29
Figura 31. Visitas de docentes de la Facultad de Ciencias Agronómicas al invernadero. ...	30
Figura 32. Salida de campo a diferentes parcelas demostrativas.	31
Figura 33. Elaboración de matriz de avances de invernaderos proyecto RECETO.	31
Figura 34. Programación de sensores de temperatura y humedad relativa en la ENA.....	32
Figura 35. Participación en taller de formación NAMA en Usulután.	32
Figura 36. Apoyo en diferentes actividades emergentes de la sede del IICA.	33
Figura 37. Apoyo de oficina y logístico en la elaboración de una biofábrica.	34
Figura 38. Participación y apoyo en la Escuela de Líderes (ELTSA) en la ENA.	34
Figura 39. Visitas técnicas para la verificación del estado de los biofertilizantes.	35
Figura 40. Participación y apoyo en capacitación impartida por el proyecto NAMA.	35

Figura 41. Resumen de lecturas de las variables climáticas.....	38
Figura 42. Lectura de variables climáticas.	37
Figura 43. pHmetro y medidor de Oxígeno Disuelto.	38
Figura 44. Variables físico químicas del agua en los tres sistemas acuapónicos.	40
Figura 45. Conductividad Eléctrica (CE) en tres de los sistemas acuapónicos.....	41
Figura 46. Pesos de tilapias en sistemas acuapónicos iniciales.....	43
Figura 47. Pesos promedio de tilapias en últimos sistemas acuapónicos.	44
Figura A1. Sistemas acuapónicos en producción.	56

Índice de cuadros

Cuadro 1. Calendarización de siembra para hortalizas en modelos acuapónicos.	13
Cuadro 2. Programa de alimentación de tilapias en sistemas acuapónicos.	13
Cuadro 3. Análisis económico de sistemas acuapónicos.....	36
Cuadro 4. Variables fisicoquímicas del agua en los sistemas acuapónicos.....	39
Cuadro 5. Parámetros físico-químicos para modelos acuapónicos 41	41
Cuadro 6. Pesos de tilapias en los primeros sistemas acuapónicos.....	42
Cuadro 7. Pesos de tilapias en los últimos sistemas acuapónicos.	44
Cuadro 8. Datos promedio de hortalizas en el sistema horizontal.	45
Cuadro 9. Datos promedio de hortalizas en el sistema vertical tipo “A”.	45
Cuadro 10. Datos promedio de producción sistema tipo “A”.	46
Cuadro 11. Datos promedio de frutos en el sistema vertical de sustrato.....	47
Cuadro 12. Datos promedio de hortalizas en el sistema de cinco niveles.....	47
Cuadro 13. Datos promedio de cosecha en el sistema combinado.....	48

3. Resumen

La práctica de pasantía profesional describe los resultados obtenidos acerca de la producción de hortalizas y peces a pequeña escala bajo la técnica de acuaponía utilizando un sistema de energía renovable, donde primeramente se modernizó el invernadero de la sede del IICA ubicado en el municipio de Santa Tecla, departamento de La Libertad, El Salvador, en el período del 14 de abril al 13 de octubre del 2023. Se realizó un plan de trabajo con el objetivo de planificar y de informar las actividades que se desarrollarían a lo largo de la pasantía. Estas actividades consistieron en la elaboración y prueba de distintos modelos usando la técnica de acuaponía, donde primeramente se realizaron los siguientes: modelo horizontal, vertical tipo “A” y de sustrato, posteriormente se modificaron dos de ellos y se creó el modelo vertical de cinco niveles y el modelo combinado el cual estaba compuesto por un sistema de sustrato “Peat Moss”, de torre y cama flotante; con el fin de aumentar la productividad del invernadero, y brindar mejores alternativas de producción de hortalizas y peces a futuros visitantes interesados en el proyecto, ya sea, productores, estudiantes y técnicos en el ámbito agrícola. De igual forma con ello se validaron diferentes tecnologías en agricultura sostenible en zonas donde el recurso hídrico y suelo son una limitante para la producción de alimentos.

Como principales resultados se logró obtener una producción de tilapia de 1.17 kg/m² y de hortalizas de hoja 2.0 kg/m² demostrando técnicamente la rentabilidad de estas tecnologías. Cabe destacar que estos datos fueron registrados en 50 m², área correspondiente al invernadero.

Por otra parte, durante la pasantía se apoyó en diferentes actividades de campo en proyectos ejecutados por la Institución como lo son: la “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador”, “AGRO-INNOVA” (Sistemas Agroforestales Adaptados para el Corredor Seco Centroamericano), el monitoreo de variables climáticas en invernaderos y el apoyo técnico para la elaboración de una Biorrefinería no energética en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA). Todo ello con el objetivo de apoyar al IICA en contribuir al desarrollo agrícola y rural del país, mediante la cooperación técnica, la innovación y el fortalecimiento de la institución.

4. Introducción

Con base a Mayoral *et al.* (2020) y Somerville *et al.* (2022), la producción de alimentos es un reto en zonas donde los recursos son limitados como el agua y el suelo, por ello es de vital importancia practicar sistemas de producción intensiva que promuevan el uso de los recursos hídricos y que se puedan operar con el uso de aguas de salinidad moderada, el cual no es utilizado para la producción de alimentos actualmente. Por esta razón, con el sistema de acuaponía se permite un aporte mutuo de peces, bacterias y plantas que crea un ambiente saludable de crecimiento en el cual ambas producciones se benefician, si se encuentra balanceado correctamente, y son rentablemente apropiados para estas zonas.

De acuerdo con López (2020), se necesita aprender a aprovechar el agua disponible de mejor manera, el espacio que se posee, las plantas que se cultivan para alimentarnos, la energía y los recursos e insumos que se encuentran en nuestro entorno, con el propósito de garantizar una sostenibilidad en el tiempo de todos estos recursos naturales, y de nuestro propio bienestar y calidad de vida.

Según Candarle (2014), a través de una iniciativa de acuaponía, junto con sus actividades de registro y campo, se puede hacer una alternativa adecuada de la gestión del recurso hídrico tanto para su consumo directo, como para la producción de alimentos (hortalizas), aunado a esto implantar una cultura del agua, del reciclaje y de un ahorro ambiental a través de la energía renovable. Dando como resultado un aprovechamiento de todos los recursos, donde no existan residuos.

La producción de hortalizas es de gran importancia, no solamente en la agricultura, sino, en distintos componentes tanto ecológico, social, productivo, económico y de seguridad alimentaria. Es por ello que en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) se trabaja en proyectos que impulsen el desarrollo agrícola y bienestar rural, en este caso en un módulo de producción de acuaponía a pequeña escala con energía renovable con el propósito de compartir este conocimiento adquirido para que los agricultores no experimentados puedan beneficiarse, a través de visitas de campo y de capacitaciones, siendo así un refuerzo en las actividades de iniciativas de escasez de agua y apoyo relación a la intensificación sostenible de la agricultura a través del uso eficiente de los recursos.

Dicho lo anterior, en el transcurso de la pasantía se consiguieron nuevos conocimientos y experiencias donde el pasante desarrollo nuevas habilidades y destrezas para un mejor desempeño con eficiencia y seguridad en el mundo laboral como profesional de las ciencias agronómicas, y así, brindar soluciones a diferentes problemáticas que se dan en el rubro de la agricultura.

Con este proceso se formó al pasante en una persona capacitada en distintas áreas de su carrera, en este caso en la producción de hortalizas, donde podrá reforzar y poner en práctica sus conocimientos acerca bajo un sistema de acuaponía con un sistema de energía renovable, con el fin de brindar una mejor alternativa de producción y del uso de los recursos sabiendo sobre las técnicas y prácticas de manejo bajo este sistema de potencial productivo y de calidad, con la experiencia sobre los factores y métodos apropiados con base a criterios técnicos y características de la zona.

Por otra parte, durante la pasantía de práctica profesional se logró conocer acerca de diferentes proyectos que se están impulsando en El Salvador por parte del IICA, en el cual se brindó apoyo en actividades de campo y talleres agrícolas, siendo de esta forma un proceso en el que cual el pasante se desarrolló y pueda seguir mejorando.

5. Información de la unidad productiva

5.1. Datos generales

5.1.1. Localización

La dirección de la representación del Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA) en El Salvador es: Ave. Manuel Gallardo y Final 1a. Ave. Norte (Av. Hermano Julio Gaitán), Santa Tecla, La Libertad, El Salvador (Figura 1). Sus coordenadas geográficas son: 13°40'58''N 89°17'13''W. Con una altitud de 955 m.s.n.m (Google Earth 2023).

Santa Tecla es una ciudad, municipio y cabecera del departamento de La Libertad en El Salvador. Tiene una extensión territorial de 112 km² y una población de 121,908 habitantes según el censo oficial de 2007, lo que lo convierte en el séptimo municipio más poblado del país, y el más poblado del departamento. La ciudad se encuentra en la parte sur del volcán San Salvador y está a solo 12 kilómetros al oeste de la capital, San Salvador (Mapcarta 2023).

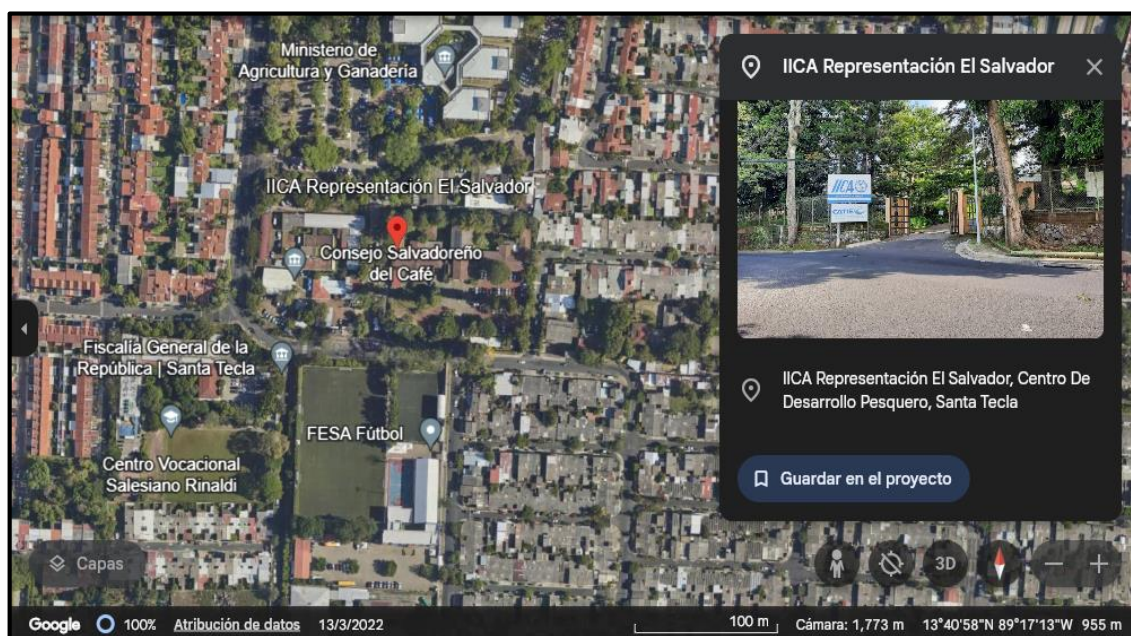


Figura 1. Ubicación de la Representación IICA El Salvador. Fuente: Tomado de Google Earth 2022.

5.1.2. Antecedentes

El IICA es el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, un organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano que apoya el desarrollo agrícola y el bienestar rural de sus 34 Estados Miembros. El IICA se fundó en 1942 como el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, con sede en Turrialba, Costa Rica. En 1979, cambió su nombre a Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y creó la Junta Interamericana de Agricultura como su máximo órgano de gobierno (IICA 2023a).

En El Salvador la primera oficina del Instituto, se estableció en 1951. Desde entonces, el IICA ha brindado cooperación técnica a El Salvador en diversos temas relacionados con el desarrollo agrícola y el bienestar rural, tales como: la promoción de la agricultura familiar, la gestión de los recursos naturales, la innovación tecnológica, la sanidad agropecuaria, la competitividad y el comercio, la seguridad alimentaria y nutricional, el cambio climático, la inclusión social y la equidad de género, entre otros (IICA 2023b).

Con base al IICA (2023b), el Instituto ha apoyado al gobierno y al sector privado de El Salvador en la formulación e implementación de políticas, planes, programas y proyectos que contribuyen al fortalecimiento institucional, la generación de capacidades, la articulación de actores, la transferencia de conocimientos y el intercambio de experiencias. Algunos ejemplos de la cooperación técnica del IICA en El Salvador son:

- ❖ El apoyo al Programa Nacional de Añil, que busca recuperar el cultivo y la producción de este colorante natural, que fue una de las principales fuentes de ingresos del país en la época colonial.
- ❖ La asistencia al Ministerio de Agricultura y Ganadería para la elaboración del Plan Estratégico Institucional 2019-2024, que define las prioridades, objetivos, metas e indicadores de la gestión pública agropecuaria.
- ❖ La participación en el Proyecto Regional de Resiliencia Rural, que busca mejorar la capacidad de adaptación y mitigación al cambio climático de las familias rurales vulnerables de El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua.
- ❖ La coordinación del Programa de Cooperación Sur-Sur y Triangular entre El Salvador, Brasil y el IICA, que facilita el intercambio de experiencias y buenas prácticas en temas

como agricultura familiar, agroecología, seguridad alimentaria y nutricional, y desarrollo territorial.

5.1.3. Recursos

5.1.3.1. Naturales

La sede del IICA en El Salvador cuenta con diferentes especies de árboles ornamentales y frutales: araucaria, ciprés, guayabo, limón, higo, aguacate, cacao, rambután, mango, musáceas, palmeras y jocote, además de diferentes plantas decorativas y florales. También se cuenta con un huerto en el cual se tienen diferentes especies de hortalizas, granos básicos y aromáticas como tomates, yuca, chiles habaneros, maíz, frijol, albahaca, orégano y romero.

5.1.3.2. Instalaciones y equipos

En la Institución se cuenta con un edificio dividido por un área de administración, cubículos para personal técnico, dos salas de reuniones, oficinas de los representantes y dirigentes, servicios sanitarios, cocina, y bodegas en las cuales se almacenan documentos y registros de proyectos pasados, además de almacenar equipos para trabajos varios. Posee un estacionamiento para vehículos del personal y visitantes, una entrada principal para vehículos y peatones. Se cuenta con equipos informáticos como laptops, wifi, impresoras, computadoras de escritorio, teléfonos fijos, bafles, entre otros equipos, además de sillas para eventos, escritorios, estantes y archiveros. En el caso del transporte se cuenta con tres vehículos para salidas de campo y de oficina los cuales son un pick up 4x4, un pick up sencillo y un Jeep.

5.1.3.3. Humanos

En la Institución se puede decir que cuenta una dependencia jerárquica del área administrativa y financiera, con un nivel organizativo para la ejecución de proyectos. Con el objetivo de alcanzar una efectiva administración de los recursos humanos institucionales, siguiendo y dando un cumplimiento a las políticas, normas y procedimientos ya establecidos a través de un manual, que establece los lineamientos para el ingreso, la permanencia, la evaluación, la capacitación, la promoción y la salida del personal. El manual también define

los derechos y deberes de los empleados, así como las sanciones por incumplimiento (IICA *et al.* 1994).

El IICA es una organización internacional que promueve el desarrollo agrícola y rural sostenible en las Américas y las funciones de la representación en El Salvador ofrece: cooperación técnica, capacitación, asesoría y gestión del conocimiento en temas como café, cambio climático, seguridad alimentaria, innovación y emprendimiento (IICA 2023b).

Cabe mencionar que en la Institución no se cuenta con un área específica dedicada a las labores de Recursos Humanos, ya que, tiene dependencia directa de la sede central del IICA Costa Rica, a través del Departamento de Recursos Humanos, encargado de planificar, ejecutar y supervisar las actividades relacionadas con la gestión del talento humano de la institución. Entre sus funciones se encuentran el reclutamiento, la selección, la contratación, la inducción, la remuneración, el desarrollo, la motivación y el bienestar del personal (IICA *et al.* 1994).

5.2.Actividades actuales

5.2.1. Producción principal y otras

Según el informe de logros significativos del IICA (2021) en El Salvador, las principales áreas de producción que el Instituto ha apoyado son:

- ❖ **Sector café:** donde se brindó asesoría técnica y capacitación a los productores para mejorar la calidad, la productividad y la adaptación al cambio climático. La implementación modelos sostenibles de café con sistemas agroforestales, bioinsumos y biofertilizantes. El fortalecimiento de la plataforma nacional de café como un espacio de diálogo y coordinación entre los actores del sector.
- ❖ **Ganadería bovina:** La promoción la implementación de buenas prácticas ganaderas, el uso de leguminosas forrajeras, el manejo integrado de plagas y enfermedades, y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se facilitó el acceso a créditos, mercados y servicios financieros para los pequeños y medianos productores.
- ❖ **Granos básicos:** se impulsó la innovación y el emprendimiento en el cultivo de maíz, frijol, sorgo y arroz. Se fomentó el uso de tecnologías apropiadas, el manejo integrado de

recursos naturales, la diversificación de la producción y el agregado de valor. Se apoyó la organización y la asociatividad de los productores.

5.2.2. Situación técnica

El IICA tiene como metodología ofrecer opciones de aprendizaje en temas como bioinsumos, sistemas de riego, resiliencia al cambio climático, ganadería bovina, biofertilizantes, lombricompost, empleo de invernaderos, sanidad vegetal y animal, entre otros. También crear alianzas estratégicas con el sector público y privado, así como fortalecer a pequeños empresarios y promover la equidad de género y la participación de jóvenes en temas agrícolas. De igual forma apoyar la modernización del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) con la inclusión de nueva tecnología (IICA 2022).

Además, el IICA ha iniciado intercambios técnicos con el Instituto Salvadoreño de Desarrollo Municipal (ISDEM) y ha fortalecido sus interacciones con la Asociación Salvadoreña de Ganaderos e Industriales de la Leche (ASILECHE), la Corporación de Exportadores de El Salvador (COEXPORT), la Asociación de Beneficiadores y Exportadores de Café (ABECAFÉ) y la Embajada de Chile en El Salvador (IICA 2022).

Actualmente en la Institución se está trabajando en diferentes proyectos, como lo es “AGRO-INNOVA” (Sistemas Agroforestales Adaptados para el Corredor Seco Centroamericano) el cual está en su fase de cierre, este proyecto tiene como objetivo mejorar las tecnologías de adaptación y mitigación al cambio climático para la producción de cultivos básicos y ganadería de pequeños productores a través de la investigación, transferencia y extensión en SAFM (Modelos en Sistemas Agroforestales Adaptados), a fin de preservar la biodiversidad de las semillas, aumentar la productividad y mejorar la seguridad alimentaria de las familias altamente vulnerables en el Corredor Seco de Centroamérica (IICA 2019a).

Otro proyecto que se está llevando actualmente es la “Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador” que se basa en aumentar la capacidad de resiliencia ante los efectos del cambio climático, la eficiencia de los sistemas de producción ganadera bovina en relación con el carbono y el agua, así como las cadenas de valor alimenticias, de acuerdo con los compromisos sectoriales relacionados con las NDC (Contribuciones Determinadas a

Nivel Nacional) de El Salvador, mediante la implementación de NAMAs (Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas) (IICA 2023c).

También el programa RECETO que es una iniciativa del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador junto con el IICA, que busca mejorar la productividad y rentabilidad de las hortalizas más consumidas por la población: repollo, cebolla y tomate. El programa tiene como objetivo beneficiar a más de 860 horticultores de la zona alta de Chalatenango y luego extenderse a otros puntos del país. El programa ofrece asistencia técnica, trazabilidad, otorgamiento de insumos, apoyo financiero y equipo con tecnología de primer mundo para garantizar desde la producción hasta la comercialización de la cosecha (MAG 2021).

Conjuntamente el IICA está realizando proyectos con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y la Escuela Nacional de Agricultura (ENA), como lo son: una biorrefinería no energética de bioinsumos, con la capacidad de producir 30 tanques de 2500 litros de biofertilizante, y la elaboración de invernaderos en los terrenos de la ENA para la producción de hortalizas. Por otra parte, en la sede del IICA se ha modernizado el invernadero para convertirlo en un laboratorio de prueba para validación de innovaciones en agricultura sostenible.

5.2.3. Situación administrativa

El IICA se conforma por la jefatura, la administración y el apoyo técnico, y en ellos se tienen tres niveles organizacionales los cuales son:

- ❖ El nivel estratégico se encarga de la planificación y definición de políticas y objetivos a largo plazo del IICA.
- ❖ El nivel táctico se encarga de la implementación de las políticas y objetivos definidos por el nivel estratégico.
- ❖ Finalmente, el nivel operativo se encarga de la ejecución de las actividades y proyectos del IICA.

5.2.4. Generales de comercialización

En la sede del IICA no se cuenta con un área de comercialización como tal, sin embargo, la cosecha de hortalizas que se realiza en el invernadero de la sede y en el huerto casero, se entregan como donaciones a asilos y casas de beneficencia como un aporte a la comunidad.

Por otra parte, se llevan registros de las producciones de los invernaderos de la zona alta de Chalatenango por parte del proyecto RECETO. Con el objetivo de estimar el abastecimiento y la demanda del mercado nacional anualmente y si es posible cubrir parte de esta demanda con una producción sostenible.

Cabe mencionar que el IICA cuenta con un programa de fortalecimiento de capacidades agroempresariales y asociativas que incluye el tema de la comercialización. El manual 5 del programa, “El mercado y la comercialización”, presenta información general sobre cómo funcionan los mercados agrícolas, los modos de generar y validar nuevas ideas de negocio, formas de conocer el mercado y caracterizar y segmentar a los clientes actuales y potenciales. También se aborda la gestión empresarial táctica y operativa, y se ofrecen lineamientos para el cambio organizacional y la innovación tecnológica, empresarial, institucional y comercial (IICA 2018).

6. Análisis de la problemática en sector

Según el IICA (2024), como Institución de apoyo a la agricultura internacional se posee información a través de un programa de bio aprendizaje sobre la producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala, cultivo integral de peces y plantas, ofreciendo información por medio de un documento técnico que incluye varios temas desde la acuicultura a hidroponía, química del agua a equilibrio ecosistémico y aspectos técnicos de fontanería y construcción; el reto es brindar un puente hacia el entendimiento común sobre el amplio campo de la acuaponía.

Además, la Institución posee un video donde se han llevado a cabo sistemas acuapónicos en Brasil, para las personas interesadas en la construcción de estos sistemas que consiste en la producción de hortalizas y peces, con uso eficiente del agua (IICA 2019).

Sin embargo, en la sede del IICA El Salvador la principal limitante fue que no se contaba con personal técnico que tuviera experiencia más allá de la teórica en temas de acuaponía, y por ende una implementación más complicada de estos sistemas de producción. Para ello, se necesitaba a una persona delegada la cual pusiera en marcha el proyecto de diferentes modelos acuapónicos usando energía renovable, haciendo uso de fuentes bibliográficas para conocer acerca de los parámetros para llevar a cabo su planificación, diseño y ejecución, además, del apoyo de los representantes y personal administrativo-financiero de la institución para la compra de materiales y equipos que son indispensables para el proyecto, con el propósito de sentar las bases de este sistema de producción de hortalizas y peces como una alternativa de agricultura sostenible para zonas afectadas por el cambio climático, siendo así un laboratorio de prueba y error en el cual se obtengan datos y registros para la adecuación, manejo y mejora de estos sistemas acuapónicos.

7. Metodología

Este proyecto de pasantía profesional se desarrolló en distintas fases, las cuales son:

- ❖ **Socialización del proyecto** con personal del IICA y pasantes de otras instituciones de educación superior, con la finalidad de presentar al estudiante pasante y de comentar las acciones, metas y objetivos a lograr con el proyecto.
- ❖ **Planificación** de las actividades a realizar en el invernadero de la sede, el diseño de los sistemas acuapónicos y todo su proceso de funcionamiento, además de realizar los presupuestos para dicho proyecto.
- ❖ **Ejecución** consiste mayormente en el montaje de distintos sistemas acuapónicos, sus ciclos de producción y manejo agronómico tanto de cultivos como de peces. Además de documentar los resultados obtenidos en dicho invernadero.

7.1. Metodología de oficina

Las actividades que se desempeñaron durante la pasantía de práctica profesional son las siguientes:

- ❖ **Investigación bibliográfica.** Esta actividad consistió en la recopilación de información acerca de la técnica de acuaponía, ejemplos de los diseños que se han implementado en otros países, cuál es su funcionamiento, que parámetros físico- climáticos se deben seguir, la cantidad de peces en función a la cantidad de plantas a establecer, los tipos de sistemas existentes, que tipo de peces y de plantas se pueden colocar. Todo esto, con el fin de diseñar y planificar de mejor manera los sistemas acuapónicos (Figura 2).

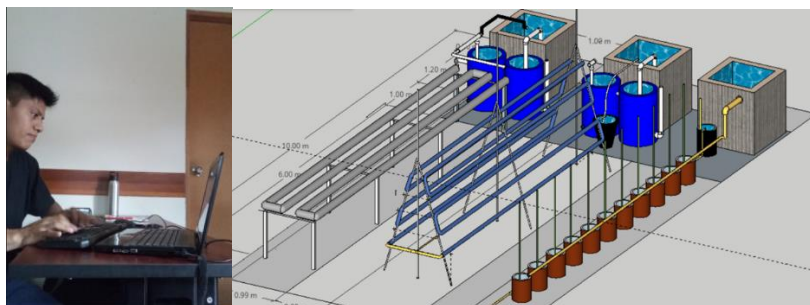


Figura 2. Pasante en actividades de oficina y diseño original de los sistemas acuapónicos.

- ❖ **Elaboración de presupuestos.** Se elaboró un presupuesto en el cual se tomaron en consideración tres modelos de sistemas acuapónicos (Sistema horizontal, sistema vertical tipo “A” y sistema de sustrato) (Figura 3) y en una segunda fase del proyecto se realizó nuevamente otro presupuesto para modificar y mejorar los sistemas donde se sustituyeron dos de estos sistemas por un sistema vertical de cinco niveles y un sistema combinado (Sustrato, torre y cama flotante).

INVERSIÓN TOTAL			
INVERSIÓN TOTAL			3,918.30
GASTOS EN FRENO S.A DE C.V		558.23	
GASTOS EN ALMACENES VEBRI S.A DE C.V		1,198.70	
GASTOS EN FERRITERIA DIA S.A DE C.V		703.72	
GRUPO 3 INVERSIONES S.A DE C.V		40.00	
ASOCIACION DE TRABAJADORES DE AVIHO		240.00	
MARIO ABIAS GALDAMEZ		65.00	
COBIRINSE		160.00	
COMPRACION LEMUS S.A DE C.V		61.60	
UMARINO S.A DE C.V		149	
FREUNO S.A DE C.V FALTA FACTURA		104.25	
FREUNO S.A DE C.V COMPRA DE BOMBAS SUMERGIBLES		623.88	
ALMACENES VEBRI S.A DE C.V		101.89	
ALMACENES VEBRI S.A DE C.V		16.70	
DEPENDENCIA FAMILIAR		7.82	

MATERIALES Y EQUIPO				
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
SOLDADOR INVERSOR 100 60S 110/220V	1	UNIDAD	554.87	554.87
CARTELA ELECTRONICA PISO LAMINADO	1	UNIDAD	25.66	25.66
CABLEADO 10/16/20/25	1	UNIDAD	3.34	3.34
SELLADOR SIGA FLEX T-A BLANCO CARTUCHO	2	UNIDAD	8.19	16.37
BRIDCA CIRCULAR DE 1/2 PPM	1	UNIDAD	12.35	12.35
BRIDCA CIRCULAR DE 3/4 PPM	1	UNIDAD	8.19	8.19
BRIDCA CIRCULAR DE 1 PPM	1	UNIDAD	11.95	11.95
BRIDCA CIRCULAR DE 1 1/2 PPM	1	UNIDAD	15.71	15.71
DESANADOR ESTRELLA	1	UNIDAD	5.27	5.27
ELECTROSCHEVALVE 3/8" 1/2" 1/4"	4	UNIDAD	3.19	12.76
PRIVATE IN LON NEGRO	2	LIBRAS	2.254	4.51
LAMPARAS FOTOVOLTAICAS	4	UNIDAD	307.71	1230.84
HERVIDOR ANTI BOY (3.7 PPM)	1	UNIDAD	6.50	6.50
TERMO COPA 1.14 L 1/2"	1	U.C.	3.51	3.51
BRIDCA DE CORDA 7 PPM 1/2 PLASTICO	2	UNIDAD	1.66	3.32
BRIDCA PARA MARCHA CON AL DENTE FINO	2	UNIDAD	1.10	2.20
GUANTES DE CUERO MANEJO CON T. CON FORRO	2	PAR	4.50	9.00

Figura 3. Elaboración de presupuestos, cotizaciones de equipo y material para sistemas acuapónicos.

- ❖ **Elaboración de documentos.** Se prepararon cartillas de los diferentes modelos acuapónicos para dar a conocer diferentes alternativas de como implementar esta técnica de producción en una agricultura familiar o comercial. Dando a conocer la información general de cada sistema, sus beneficios, su fundamento, funcionamiento y los costos que se deben realizar para llevar a cabo el montaje de cualquiera de los sistemas acuapónicos, destacando que se pueden reducir estos costos dependiendo de la calidad y vida útil de los materiales y equipos (Figura 4).



Figura 4. QR de cartillas de los modelos acuapónicos e información relevante.

- ❖ **Programación de ciclos de producción de hortalizas y peces.** En esta actividad se realizó una calendarización para fechas de siembra, trasplante y cosecha de las hortalizas, al igual que las actividades de manejo a realizar (Cuadro 1). Además, una programación para llevar el control de los peces en cuanto a su alimentación según su crecimiento y peso (Cuadro 2).

Cuadro 1. Calendarización de siembra para hortalizas en modelos acuapónicos.

Calendarización de siembra			
Cultivo	Días a trasplante	Días a cosecha	Días de próximas siembras* (semilleros)
Lechuga morada	21	50 a 80	21 días antes de la cosecha
Lechuga repollada	21	50 a 80	21 días antes de la cosecha
Lechuga escarola	21	50 a 80	21 días antes de la cosecha
Lechuga romana	21	50 a 80	21 días antes de la cosecha
Apio	30	120 a 150	30 días antes de la cosecha
Cebollín	45	70 a 90	45 días antes de la cosecha
Brócoli	24	75 a 80	24 días antes de la cosecha
Albahaca	20	Indefinido	20 días antes de la cosecha
Tomate	22	75 a 90	22 días antes de la última cosecha*
Chile dulce	22	75 a 80	22 días antes de la última cosecha*
Repollo	30	75 a 80	30 días antes de la cosecha
Papa	30 (brotes)	80 a 115	Colocar papas a brotar 30 días antes de la cosecha
Cilantro	Siembra directa	45 a 70	Tener disponible las semillas antes de la cosecha

Cuadro 2. Programa de alimentación de tilapias en sistemas acuapónicos.

Tabla para alimentación en tilapia (Concentrado comercial)					
Etapa	Concentrado (% proteína)	Peso promedio (g)	Ración diaria (% de biomasa)	Frecuencia de alimentación	Edad en semanas
Inicio	38	5-10	12	4	3
		10-20	8	4	5
		20-25	6	4	6
		25-40	5	4	7
		40-60	4	4	10
		60-80	3	4	12
Crecimiento	32	80-100	2.8	3	13
		100-200	2.3	3	19
		200-300	2	3	24
		300-400	1.8	3	27

Engorde	28	400-500	1.7	3	30
		500-600	1.6	3	34
		600-700	1.6	3	37
		700-800	1.5	3	41

7.2. Metodología de campo

A continuación, se describen detalladamente las actividades que se realizaron a lo largo del proyecto y del montaje de los sistemas acuapónicos en el invernadero del IICA:

7.2.1. Adquisición y compra de materiales y equipos

Después de realizar el presupuesto y las cotizaciones para la compra de materiales y equipos para elaborar los sistemas acuapónicos. Se obtuvo un dato de capital requerido para este tipo de proyectos. Con fondos del IICA y apoyo del personal de la institución, se lograron obtener los materiales en distintas casas comerciales de fontanería y de equipos de bombeo.

7.2.2. Actividades generales

- ❖ **Verificación del área de trabajo.** Se realizó la medición del área del invernadero para diseñar de mejor manera los sistemas, con el objeto de no tener falta de espacio al momento de ingresar los materiales y realizar el montaje de los sistemas acuapónicos (Figura 5).



Figura 5. Adecuación del espacio del invernadero del IICA (50 metros cuadrados).

- ❖ **Adecuación y limpieza.** En esta fase se desempeñaron varias labores como la eliminación de maleza, lavado y limpieza de la malla del invernadero y la colocación de cascajo rojo al interior del invernadero para evitar el levantamiento de polvo al caminar y de esta forma garantizar una mejor inocuidad con la prevención de problemas fitopatológicos (Figura 6).



Figura 6. Actividades de limpieza en el invernadero de la sede de la Institución.

7.2.3. Ciclos de producción de hortalizas

Para la programación de los ciclos de producción se debe mencionar que los sistemas acuapónicos deben estar meramente establecidos y fijos, en este caso debido a la modificación constante de los modelos solo se han realizado tres ciclos de producción. Sin embargo, la planificación de siembra, el trasplante y los días a cosecha será con base a los cultivos que se quieran establecer, con la idea de mantener una producción escalonada y que siempre exista producción en cosecha (Cuadro 1).

7.2.4. Programa para alimentación de peces

El programa de alimentación es con base a concentrados comerciales que traen establecidos las cantidades de alimento a suministrar según la edad en semanas y etapas de crecimiento de los peces en este caso de las tilapias, en la fase de inicio se alimenta con un concentrado con el 38 % de proteína que dura aproximadamente 12 semanas desde los 5 gramos hasta 80 gramos, posteriormente se suministra concentrado al 32 % de proteína para su fase de crecimiento que son 15 semanas hasta alcanzar un peso de 400 gramos y por último una etapa de engorda con un concentrado al 28% de proteína que dura 3 semanas con un peso de 500

gramos dependiendo de que tan grande se desee la tilapia (Cuadro 2). Cabe recalcar que debido a la densidad de peces que se maneja en los tanques IBC (1000 litros de agua) con sistemas acuapónicos lo recomendable es que se cosechen cuando alcancen un peso promedio de 300 gramos, o sea, a las 24 semanas después de la siembra de alevines debido a la cantidad de excretas que se pueden generar dentro del agua y que pueden producir una intoxicación por amoníaco y por ende la mortalidad de las tilapias.

7.2.5. Montaje de sistemas acuapónicos

7.2.5.1. Montaje del primer modelo (Sistema horizontal)

Para este sistema se colocó un tanque IBC con la capacidad de almacenar 1000 litros de agua, en el cual se colocó un alimentador automático que su propósito en función es para alimentar mascotas, pero se configuró para suministrar alimento para peces (Figura 7), este tanque también posee con un sistema de oxigenación que se realiza a través de una bomba y piedras difusoras de aire que se encuentran en el fondo del tanque (Figura 8). Seguidamente del tanque se tiene un sistema de biofiltración que está compuesto por 2 barriles de 200 litros, que funcionan, uno como separador mecánico que en su interior posee una cubeta de 5 galones con la tercera parte de su capacidad con cascajo rojo, de esta forma separa los sólidos del agua, que posteriormente pasa al otro barril que se le conoce como biofiltro que se compone por biobolas y tapas de refrescos recicladas para la colonización de bacterias nitrificantes, en este biofiltro también se encuentra una bomba sumergible (Figura 9), que se utiliza para suministrar el agua filtrada a cuatro tubos PVC, que son las siguientes estructuras en el sistema y que su flujo de agua es por gravedad hasta llegar nuevamente al tanque IBC, estos tubos tienen un diámetro de 4 pulgadas y una longitud de 6 metros, con 20 agujeros por tubo, por ende se tiene un espacio para 80 hortalizas de hoja en este sistema (Figura 10).

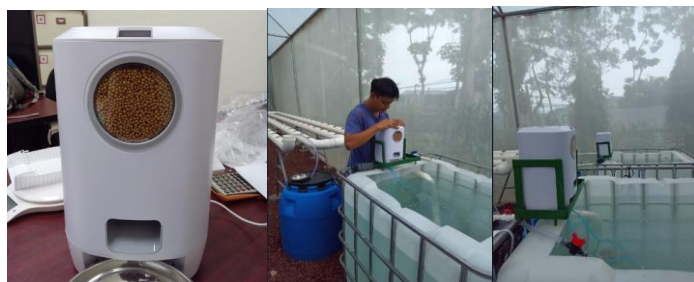


Figura 7. Configuración e instalación de alimentadores automáticos para peces.



Figura 8. Instalación de sistema de oxigenación para tilapias.



Figura 9. Elaboración de sistema de biofiltración para la colonización de bacterias nitrificantes



Figura 10. Tubos de producción para la colocación de plantas en modelo horizontal.

7.2.5.2. Montaje del segundo modelo (Sistema Vertical Tipo “A”)

Este modelo es similar al primer sistema (horizontal), ya que, en ambos se colocó un tanque IBC con 65 tilapias, un sistema de oxigenación, un alimentador automático, un sistema de biofiltración y una bomba sumergible para suministro de agua, en lo que varía este sistema es en la colocación de un sumidero (cubeta de 5 galones) para recolectar el agua, dentro de este sumidero se encuentra también una bomba sumergible que retorna el agua al tanque. La recolección del agua se realiza de esta forma debido a que se tienen 12 tubos PVC de 4 pulgadas, para poder cosechar 240 hortalizas de hoja (Figura 11).



Figura 11. Montaje de tubos de producción para modelo vertical tipo “A”.

7.2.5.3. Montaje del tercer modelo (Sistema de Sustrato)

De igual forma que en el segundo modelo (sistema vertical tipo “A”) se realizó el montaje de un tanque IBC para una capacidad de 65 tilapias, un sistema de oxigenación, un alimentador automático y una bomba sumergibles (retorno de agua). La diferencia de este sistema es que no posee un sistema de biofiltración independiente como los sistemas anteriores, ya que, se tienen dos mitades de un tanque IBC con diferentes sustratos, una mitad con sustrato “Peat moss” y otra mitad con cascajo rojo, además de 12 cubetas de 5 galones con este mismo sustrato, para poder colocar alrededor de 20 plantas de fruto (Figura 12), con la ayuda de este cascajo rojo se puede realizar un sistema de biofiltración sin la necesidad de que sea independiente, ya que, en el las bacterias pueden colonizarse. De igual forma el proceso de recolección de agua se realiza por una tubería donde se conectan todas las

unidades productivas a un mismo sumidero, donde la bomba sumergible retorna el agua al tanque IBC.



Figura 12. Montaje de modelo de sustrato para producción de hortalizas de fruto.

7.2.5.4. Sustitución del sistema horizontal (Sistema vertical de 5 niveles)

El sistema horizontal se sustituyó por un sistema vertical de cinco niveles para aprovechar mejor el espacio y para maximizar la producción de hortalizas en el sistema, por lo tanto, se agregaron 6 tubos más de PVC de 4 pulgadas, con el propósito de albergar 120 plantas más que en el sistema horizontal, haciendo un total de 200 hortalizas de hoja. Para ello, se mantuvo el mismo tanque IBC con 65 tilapias, el sistema de oxigenación y el de biofiltración, al igual que la bomba de suministro para alimentar los primeros tubos PVC y que el agua se transportará por gravedad a lo largo de los demás tubos donde se colocan las plantas, sin embargo, se colocó un sumidero y una bomba sumergible más para realizar el retorno de agua al tanque de peces (Figura 13).



Figura 13. Elaboración de modelo vertical de cinco niveles.

7.2.5.5. Sustitución del sistema de sustrato (Sistema combinado)

Este sistema se sustituyó después del primer ciclo de producción, por un modelo combinado el cual está sub dividido por tres tipos de sistema: de sustrato “Peat Moss”, un sistema de torre que está compuesto por 6 tubos PVC de 4 pulgadas ubicados verticalmente y sostenidos en cubetas de 5 galones con cascajo rojo para la función de biofiltración, y un sistema de cama flotante usando durapax a lo largo de una mitad de un tanque IBC (Figura 14). Con la sustitución de este modelo podemos colocar alrededor de 300 hortalizas de hoja.



Figura 14. Elaboración de modelo combinado (Sustrato, de torre y cama flotante).

7.2.6. Siembra de alevines

El género y especie de la tilapia que se utilizó para todos los sistemas acuapónicos es *Oreochromis niloticus* (grises y rojas), cabe recalcar que solo en el sistema vertical tipo “A” se colocó tilapia roja, en cada tanque IBC se colocaron 65 alevines de 5 gramos cada uno, haciendo un total de 195 los cuales se dejaron aclimatarse en los tanques por 15 minutos. Las tilapias fueron proporcionadas por un profesional de CENDEPESCA (Figura 15).



Figura 15. Siembra y reposición de alevines de tilapia en sistemas acuapónicos.

7.2.7. Alimentación de tilapias

Para esta actividad se siguió lo que es un programa de alimentación el cual se describe anteriormente, en este caso debido a problemas de mortalidad de peces a inicios de los sistemas acuapónicos, por intoxicación del agua y por problemas de oxigenación en los tanques (Figura 16), no se suministró más allá del concentrado de inicio (38% de proteína), por ende se corrigieron estas fallas, para realizar una correcta alimentación haciendo uso de la programación de suministro de alimento y obtener un mejor rendimiento de las tilapias en futuras cosechas.



Figura 16. Mortalidad de tilapias por altas concentraciones de amoníaco.

Las tilapias tanto rojas como grises se alimentaron con el concentrado que contiene un 38% de proteína y con un porcentaje del 12% con respecto a su peso vivo (este porcentaje cambiara según el peso de la tilapia), es decir, si la siembra de tilapias se realizó de 5 gramos por cada alevín, en 65 peces hacen un total de 325 gramos por tanque, entonces el alimento a suministrar por día sería de 39 gramos divididas en el alimentador automático en cuatro raciones durante las horas más calientes del día aproximadamente, debido a que se debe considerar que no será exacto por diferentes factores como la temperatura del agua, ya que, si se encuentra abajo de los 26 °C el consumo de concentrado por parte de las tilapias es menor.

7.2.8. Trasplante de hortalizas

Previamente en cada trasplante se preparó el material donde se colocarían las plantas, en el primer y tercer ciclo de producción se usó: vasos desechables de 12 onzas con perforaciones en la parte inferior para suministrar el agua por capilaridad y que el sistema radicular logrará

salir del vaso, el cascajo rojo para darle fijeza a la planta y además nos sirve como un pequeño biofiltro por planta donde se pueden adherir bacterias nitrificantes y aportar minerales a las plantas (Figura 17). En el segundo ciclo se utilizó esponja en sustitución del cascajo rojo, sin embargo, se presentaron problemas por hongos en algunas plantas, ya que, la esponja permanecía sumergida en el agua (Figura 18), por lo tanto, se utilizó nuevamente cascajo en el tercer ciclo de producción como mejor alternativa. Algunos de los plantines que se han colocado en los modelos acuapónicos se han elaborado en la Institución con bandejas de 200 celdas usando sustrato “Peat Moss” y también bandejas de 50 espacios para pastillas de turba con sustrato deshidratado de fibra de coco, y otros se adquirieron de la empresa ACCESO, los cuales fueron producidos en el cantón Los Planes, municipio de La Palma, Chalatenango (Figura 19).

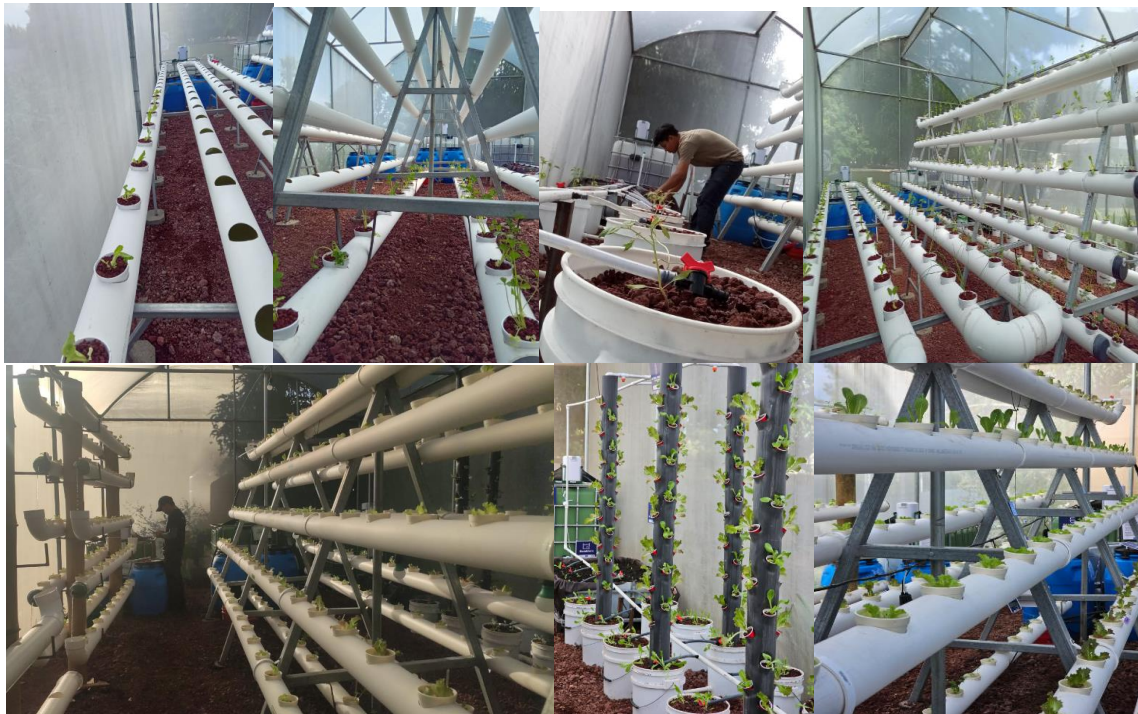


Figura 17. Trasplante de hortalizas con cascajo rojo en los distintos modelos acuapónicos implementados.



Figura 18. Trasplantes de hortaliza en esponja, segundo ciclo de producción.



Figura 19. Elaboración y compra de plantines de hortalizas.

7.2.9. Prácticas de manejo agronómico

7.2.9.1. Monitoreo de plagas y enfermedades

Estas prácticas radican mayormente en los primeros dos ciclos de producción, ya que, fueron los que presentaron más dificultades al momento de su manejo y adaptabilidad a los sistemas acuapónicos, principalmente en el modelo de sustrato, ya que, en este se colocaron plantas de fruto (tomate pony y chile dulce marcelan) a los cuales se realizaron podas de chupones y de hojas con presencia de hongos como la cenicilla (*Leveillula taurica*) y en los cultivos de lechuga se reemplazaron algunos plantines afectados por podredumbre del tallo causado por *Rhizoctonia solani*, debido al contacto directo con el agua (Figura 20).



Figura 20. Monitoreo de plagas y enfermedades de diferentes hortalizas establecidas.

En el segundo ciclo de producción se presentaron problemas de plagas en los primeros modelos establecidos (sistema horizontal, vertical tipo “A” y de sustrato) debido al ingreso de plantines de kale y perejil con huevos no eclosionados de mosca blanca (*Bermisia tabaci*) y pulgones (*Myzus persicae*) (Anexo, figura 19), por lo tanto, se tuvo que descartar todas las plantas que tenían plagas y partes de plantas dañadas. Posteriormente, antes de la modificación de estos diseños se erradicaron las plagas haciendo uso de insecticidas convencionales en el interior del invernadero, con la respectiva precaución de no derramar el producto en los tubos de producción, biofiltros y tanques de peces (Figura 21).



Figura 21. Eliminación de plagas y enfermedades en invernadero

7.2.9.2. Nutrición de las plantas

En el sistema de sustrato, ya que, se albergaban hortalizas de fruto (tomate y chile dulce), los cuales son más demandantes en nutrientes que las hortalizas de hojas, se suplementaron con foliares convencionales y biofertilizantes debido a la deficiencia que se presentaba en algunas

de las plantas, dando como prueba que el sistema acuapónico necesita un mejor sistema de biofiltración y mayor cantidad de peces para suplir los requerimientos de estas hortalizas (Figura 22).



Figura 22. Aplicación de foliares convencionales y biofertilizantes.

7.2.10. Mantenimiento de sistemas de biofiltración

En los primeros meses se realizó una limpieza general cada 15 días en cada uno de los tanques, separadores mecánicos, biofiltros y sumideros de cada modelo, luego se realizó cada semana debido a que los peces conforme a su crecimiento generaban más excretas y por ende mayor cantidad de sólidos en el agua, entonces, con el objetivo de prevenir la obstrucción de tuberías y de intoxicación de los peces por la acumulación de estos sólidos se acortó el tiempo de limpieza (Figura 23). Además, se pintaron con un color oscuro los tanques IBC de cada sistema para evitar la producción de algas por radiación solar y de esta manera evitar la competencia por oxígeno de los peces con esta alga dentro de los tanques.



Figura 23. Limpieza y mantenimiento general de sistemas acuapónicos.

7.2.11. Cosecha de hortalizas

En el primer y segundo ciclo de producción la cosecha se realizó en diferentes fechas, cuando las hortalizas presentaban un crecimiento y número de hojas significativo, en total se cosecharon alrededor de 300 hortalizas de hoja, entre el sistema horizontal y vertical, entre ellas apio, acelgas, cebollín y lechugas repolladas, escarolas, moradas, palmitos y romanas (Figura 24). La mayoría de estos productos se entregaron como donación a asilos para personas adultas, como un pequeño aporte a la comunidad. En el caso de los cultivos de fruto son los que pertenecen al sistema de sustrato y la primera cosecha se realizó a los 2 meses y medio después de su trasplante, a partir de este tiempo se cosecharon tomates y chiles, además de otros cultivos como papa y albahaca, luego se decidió descartar estos cultivos para sustituir el sistema acuapónico, al igual que el modelo horizontal. Cabe destacar que los cultivos de fruto y tubérculo no mostraron los resultados de producción esperados, y, por ende, no se lograría compensar la inversión inicial y los costos de producción en un tiempo aceptable.



Figura 24. Cosechas de hortalizas de hoja, fruto y tubérculo de los modelos acuapónicos.

7.2.12. Toma de datos de hortalizas

Para realizar la toma de datos se usó una balanza digital para tomar el peso de las hortalizas en gramos y una regla en centímetros para medir las variables: altura de la planta, diámetro

del tallo, largo de raíz, número de hojas, largo de la hoja, ancho de hoja. Para ello, se tomaron 10 muestras por cultivo para calcular un promedio del rendimiento que tuvieron las hortalizas en cada uno de los sistemas acuapónicos (Figura 25).



Figura 25. Toma de datos de las hortalizas cosechadas en los primeros modelos acuapónicos.

7.2.13. Cosecha de tilapias

En total se cosecharon alrededor de 60 tilapias con pesos entre los 93 gramos a los 150 gramos. Esta cosecha se realizó en el tanque 1 que pertenece al sistema acuapónico horizontal, debido a problemas de oxigenación con la bomba de aire, por lo cual los peces fueron cosechados (Figura 26). Sin embargo, la cosecha debe realizarse cuando los peces logran 300 gramos de peso, aproximadamente en 6 meses.



Figura 26. Cosecha de tilapias de modelo acuapónico horizontal.

7.2.14. Toma de datos de tilapias

Para la toma de datos se usó una balanza digital para pesar las tilapias en gramos, se hizo el pesaje en cada tanque, ya que, cada tanque posee un porcentaje de alimentación distinto

debido a la variabilidad de pesos, al número de peces y a las reposiciones de tilapias por mortalidad en cada sistema. Para el pesaje se tomaron 10 muestras por cada tanque (Figura 27).



Figura 27. Toma de datos (peso en gramos) de tilapias en los distintos modelos acuapónicos.

7.2.15. Monitoreo de variables climáticas

Para la toma de datos de temperatura y humedad relativa se utilizó un sensor LogTAG Analyzer, con el objetivo de registrar y monitorear las variables climáticas dentro del invernadero y de esta forma analizar cuáles son los cultivos que mejor se adaptan a la zona (Figura 28).



Figura 28. Sensor de temperatura y humedad relativa LogTag.

7.2.16. Instalación de sistema fotovoltaico y luces led

Gracias al personal técnico en energías renovables de la Institución, se instaló este sistema fotovoltaico, alimentado por paneles solares y un sistema tipo aislado para suministrar energía al equipo eléctrico dentro del invernadero, además de un sistema de luces led para

un aceleramiento en el crecimiento de las hortalizas (Figura 29). En estas actividades se fue de ayuda para el montaje de las estructuras del sistema, sin embargo, para la conexión e instalación eléctrica fue gracias al técnico en energías renovables.



Figura 29. Instalación de sistema fotovoltaico y de luces led para la inducción de crecimiento de las hortalizas.

7.2.17. Elaboración de sistema de cosecha de agua

Para este sistema de igual forma se apoyó a personal de la Institución a elaborar las estructuras bases, debido a que se presentaban problemas por la nivelación del suelo y se podría ocasionar un volcamiento del tanque de cosecha de agua. Para este sistema se colocó un canal en la parte del techo del invernadero y se colocó un tanque tricapa con la capacidad de almacenar 2,500 litros de agua lluvia, esto con el objetivo de utilizar el agua para suministrar a los sistemas acuapónicos por pérdidas de evaporación y consumo de las plantas, y para el mantenimiento de los mismos (Figura 30).



Figura 30. Colocación de tanque y canales para cosecha de agua.

7.2.18. Visitas al invernadero

Se atendió a diferentes personas de instituciones gubernamentales y productores interesados en el proyecto a lo largo de la pasantía de práctica profesional, de igual manera se recibió personal de CENDEPESCA para compartir experiencias y conocimiento acerca de la acuaponía en pro de la mejora de los modelos. Además de la visita por parte del personal del Departamento de Fitotecnia de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, con el propósito de supervisar los avances de la pasantía de práctica profesional, y de brindar sus opiniones acerca de los sistemas, de los factores y variables a tomar en cuenta, tales como el oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica para el establecimiento de las hortalizas (Figura 31).



Figura 31. Visitas de docentes de la Facultad de Ciencias Agronómicas al invernadero.

7.2.19. Actividades emergentes

Las siguientes acciones no están relacionados a la elaboración de los modelos acuapónicos, sin embargo, son actividades que se contemplaron en el plan de trabajo con respecto a salidas de campo y apoyo a la Institución:

- ❖ La primera salida de campo fue con el propósito de realizar visitas técnicas a productores y verificar el avance de sus fincas con relación al proyecto AGRO INNOVA por parte del IICA El Salvador (Figura 32).



Figura 32. Salida de campo a diferentes parcelas demostrativas del proyecto AGROINNOVA.

- ❖ Se desarrolló una matriz en Excel acerca del avance de la elaboración de invernaderos del proyecto RECETO en distintos municipios del departamento de Chalatenango y de igual forma de la entrega de algunos materiales de trabajo (Figura 33).

Figura 33. Elaboración de matriz de avances de invernaderos proyecto RECETO.

- ❖ Se colocaron y programaron sensores de temperatura y humedad relativa en tres invernaderos instalados por parte del Proyecto RECETO en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA), con el propósito de comparar el comportamiento micro climático en

un invernadero con techo de plástico resistente a los rayos UV contra dos invernaderos con techo de malla antiviral, y comprobar si poseen las condiciones óptimas para establecer cultivos hortícolas u otros. La descarga de datos de estos sensores se realizaba cada diez días (Figura 34).



Figura 34. Programación de sensores de temperatura y humedad relativa en la ENA.

- ❖ Participación y apoyo en taller de formación NAMA (Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas), esta actividad se realizó con el fin de apoyar con material didáctico para el desarrollo del taller de formación de formadores en Escuelas de Campos ECA's proyecto NAMA en el departamento de Usulután (Figura 35).



Figura 35. Participación en taller de formación NAMA en Usulután.

- ❖ Una de las actividades emergentes a ser atendida fue el apoyo con el mantenimiento de un techado dentro de la institución (salón cacao y Agro innova) y el apoyo en la siembra de diferentes árboles frutales en la sede del IICA, para fomentar conciencia ambiental (Figura 36).



Figura 36. Apoyo en diferentes actividades emergentes de la sede del IICA.

- ❖ Apoyo en la elaboración de presupuestos para la creación de una biorrefinería no energética de biopreparados en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA). También se brindó apoyo de logística en la verificación de los materiales entregados en esta institución, cotización y preparación de equipos y materiales para prácticas de elaboración de biofertilizantes en la Escuela de Lideres ELTSA impartido en la ENA (Figura 37).





Figura 37. Apoyo de oficina y logístico en la elaboración de una biofábrica de biofertilizantes en la ENA.

- ❖ También se participó en las distintas prácticas y temáticas impartidas por personal del IICA de Costa Rica, en las cuales se encuentran el uso y manejo de drones, manufactura aditiva e impresión 3D en agricultura y el prototipado electrónico en Plataforma abierta Arduino para la innovación agrícola (Figura 38).



Figura 38. Participación y apoyo en la Escuela de Líderes (ELTSA) en la ENA.

- ❖ Se realizaron visitas a la biofábrica mencionada anteriormente, para verificar el estado de los biopreparados elaborados en las prácticas impartidas por la Escuela de Líderes (ELTSA), y así determinar si se realizó un buen trabajo para dar continuidad al llenado de 30 tanques tricapa de 2,500 litros, siguiendo la misma fórmula, a través de resultados de los análisis de las muestras aún están en proceso (Figura 39).



Figura 39. Visitas técnicas para la verificación del estado de los biofertilizantes en la ENA.

- ❖ Se recibió una capacitación junto con las entidades involucradas en el desarrollo de la NAMA en ganadería bovina, para conocer la metodología y adaptarla al sector ganadero bovino de El Salvador. Además de brindar apoyo al personal del IICA en actividades de logística para llevar a cabo esta actividad (Figura 40).



Figura 40. Participación y apoyo en capacitación impartida por el proyecto NAMA.

7.3. Metodología estadística

En términos sencillos, durante el proceso de análisis de datos, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- ❖ **Recolección:** en la cual se obtuvieron los datos necesarios para el estudio, acerca de variables climáticas, variables físico químicas del agua y de producción de alimentos.
- ❖ **Organización:** Los datos se estructuraron y prepararon para su análisis, según cada sistema acuapónico implementado.

- ❖ **Análisis:** Se examinaron los datos para identificar patrones, tendencias y relaciones entre los sistemas acuapónicos y así determinar cuál es el más eficiente.
- ❖ **Interpretación:** Se derivaron conclusiones significativas a partir de los resultados obtenidos de todas las variables tomadas y de las producciones de hortalizas y pesos de las tilapias.

Para todo ello se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel como herramienta para procesar y visualizar los datos en cuadros y gráficos de las variables físicas y químicas del agua, al igual que la producción de hortalizas y toma de pesos de las tilapias. En cuanto al procesamiento de las variables climáticas del invernadero se usó el programa LogTag Analyzer 3. En resumen, se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas, gráficos y medidas de tendencia central para comprender y tomar decisiones basadas en la información recopilada.

7.4. Metodología económica

Para el análisis económico se aplicó una estimación de costos con base a los precios de diferentes casas comerciales dedicadas a la venta de materiales y equipos de fontanería, y de suministros agrícola, para obtener un dato de inversión inicial y costos de producción. Además de obtener un aproximado de los ingresos monetarios con la implementación de estos sistemas acuapónicos, para ello se utilizaron los registros de venta del Ministerio de Agricultura (MAG) tomando un promedio anual de algunas hortalizas de hoja en distintos mercados del país. A continuación se muestra un análisis económico del invernadero con tres sistemas acuapónicos, un sistema de cosecha de agua y un sistema fotovoltaico:

Cuadro 3. Análisis económico de sistemas acuapónicos.

Resumen de costos de sistemas acuapónicos con sistema fotovoltaico (USD\$) para 750 plantas y 195 tilapias					
Sistema acuapónico	Inversión inicial (Costos fijos)	Costos de producción/ anual	Ingresos de producción anual	Retorno de inversión (meses)	Beneficio/ Costo
Vertical 5 niveles	981.27	471.06	1,731.81		

Vertical tipo "A"	1,165.73	527.06	2,043.81		
Combinado	1,160.55	578.26	2,558.61		
Invernadero	2,221.00	-	-		
Sistema fotovoltaico	4,831.13	-	-		
Cosecha de agua	296.67	-	-		
Depreciación	905.79				
Total	11,562.14	1,576.38	6,334.22	23	4.02
Total sin sistema fotovoltaico	6,320.36	3,042.54	6,334.22	14	2.08

8. Resultados y discusión

8.1. Factores climáticos en el invernadero

Las lecturas de temperatura (°C) y humedad relativa (%) se tomaron con el sensor LogTag y se realizaron durante 76 días aproximados, estas lecturas se realizaban cada 15 minutos, por ende, se registraron un total de 7,383 lecturas. Dando como resultado para la variable temperatura un mínimo de 17.3 °C, un máximo de 36.1 °C y un promedio de 24.3 °C. Para la variable humedad relativa se tiene un mínimo de 37.3 %, un máximo de 99.6% y un promedio de 82.4% (Figura 41).

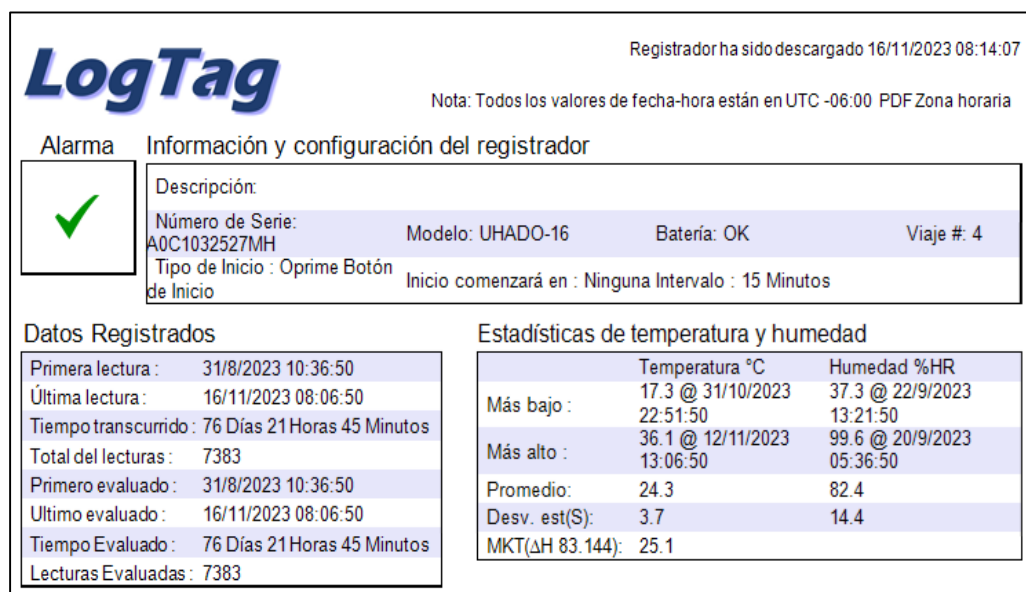


Figura 41. Resumen de lecturas de las variables climáticas tomadas por el LogTag en el invernadero del IICA.

Con base a las variables climáticas registradas (Figura 42), se puede decir que en estas condiciones bajo un invernadero se pueden producir hortalizas de hoja como acelga, apio, perejil, cilantro, y diferentes variedades de lechuga: escarola, morada, romana, frisada, etc.

De acuerdo con Somerville *et al.* (2022), si bien lo mejor es escoger plantas y peces que ya están adaptados al clima local, hay técnicas de manejo que pueden minimizar las fluctuaciones de temperatura y extender la temporada de crecimiento. Los sistemas son más productivos si las fluctuaciones de temperatura diaria y del día a la noche, son mínimas.

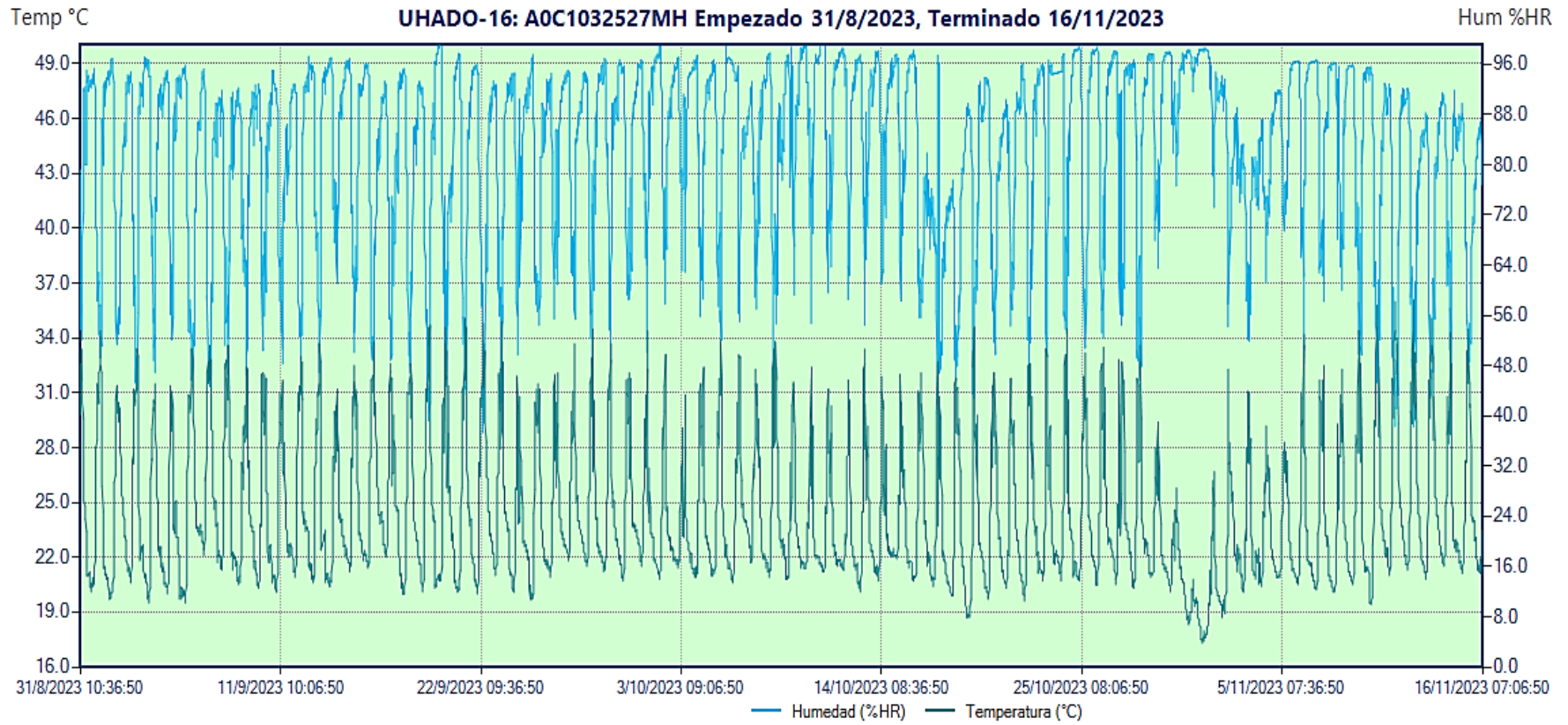


Figura 42. Lectura de variables climáticas temperatura y humedad relativa en el invernadero del IICA.

8.2. Parámetros fisicoquímicos del agua

Los datos que se obtuvieron sobre los parámetros físico-químicos del agua fueron durante los últimos diseños acuapónicos que se realizaron, es decir: el sistema de cinco niveles, el sistema vertical tipo “A” y el sistema combinado. Los parámetros que se tomaron fueron pH, Conductividad Eléctrica (CE), temperatura del agua, Oxígeno Disuelto (OD) y salinidad. Para ello se utilizó un pHmetro 5 en 1, y un medidor de Oxígeno Disuelto (Figura 43).



Figura 43. pHmetro y medidor de Oxígeno Disuelto para toma de parámetros del agua.

A continuación, se muestran los resultados promedio de las variables fisicoquímicas del agua por cada tanque con su respectivo sistema acuapónico (Cuadro 4), cabe destacar que el promedio inicial de pH en las primeras semanas era más alto en los tres sistemas acuapónicos, el cual rondaba en un valor arriba de 7, a pesar que se ha utilizado agua lluvia el cual posee un pH neutro y con muy bajas concentraciones de dureza y casi cero salinidades, sin embargo, su pH disminuyó con el tiempo en un rango de 6 a 7.

Esto tiene una explicación, con base a Somerville *et al.* (2022), el agua en sistemas acuapónicos se acidifica naturalmente gracias a la nitrificación y a la respiración. Con paciencia, los niveles de pH a menudo disminuyen al rango objetivo, no obstante, en algunos casos donde el agua posee altos niveles de pH y de carbonatos, o donde la tasa de evaporación es alta, es mejor adicionar ácido para regular estos niveles.

Cuadro 4. Variables fisicoquímicas del agua en los sistemas acuapónicos.

Variable	Sistemas acuapónicos		
	Tanque 1: sistema de 5 niveles	Tanque 2: Sistema tipo "A"	Tanque 3: Sistema combinado
Temperatura °C	25.6	23.1	22.7
pH	6.3	6.3	6.5
CE (µS/cm)	615	605	613
OD (mg/l)	5.4	5.5	5.1
Salinidad (%)	0.03	0.03	0.03

En el siguiente gráfico se muestran las variables fisicoquímicas del agua en los tres sistemas acuapónicos a los cuales se le tomaron datos (Figura 44), en el caso de la temperatura todos mantuvieron una similitud en su promedio, su variación es debido a la posición de cada tanque, ya que, el tanque 2 y 3 permanecían con menor cantidad de luz solar a comparación del tanque 1. En el caso del Oxígeno Disuelto (OD), los tres sistemas acuapónicos rondan arriba de 5 mg/litro, lo cual es aceptable, cabe recalcar que, en los primeros sistemas acuapónicos (sistema horizontal y de sustrato) se tuvieron problemas de oxigenación, debido a equipos eléctricos defectuosos. Y también, es de importancia mencionar que conforme los peces crecen el oxígeno disuelto disminuye en el tanque bajando del valor óptimo (>5 mg/l), es por ello, que se deben cosechar los peces aproximadamente cuando tengan 300 gramos de peso.

Se puede decir que su rango de temperatura es adecuado, ya que, según Candarle (s.f.), López (2020) y Somerville *et al.* (2022), la solubilidad del oxígeno es inversamente proporcional a la temperatura del agua, su óptimo es de 18 a 30 °C, a mayor temperatura existe menos OD y más amoníaco tóxico. Además, el proceso de nitrificación es una reacción oxidante, dónde el oxígeno es usado como un reactivo; sin el oxígeno, la reacción se detiene. Los niveles óptimos de OD son entre 4–8 mg/litro. La nitrificación disminuirá si la concentración de OD está por debajo de 2.0 mg/litro. Adicionalmente, sin las suficientes concentraciones de OD, otro tipo de bacterias pueden crecer, que convertirían los valiosos nitratos en nitrógeno

molecular que no es utilizable por las plantas. Este proceso anaeróbico es conocido como desnitrificación.

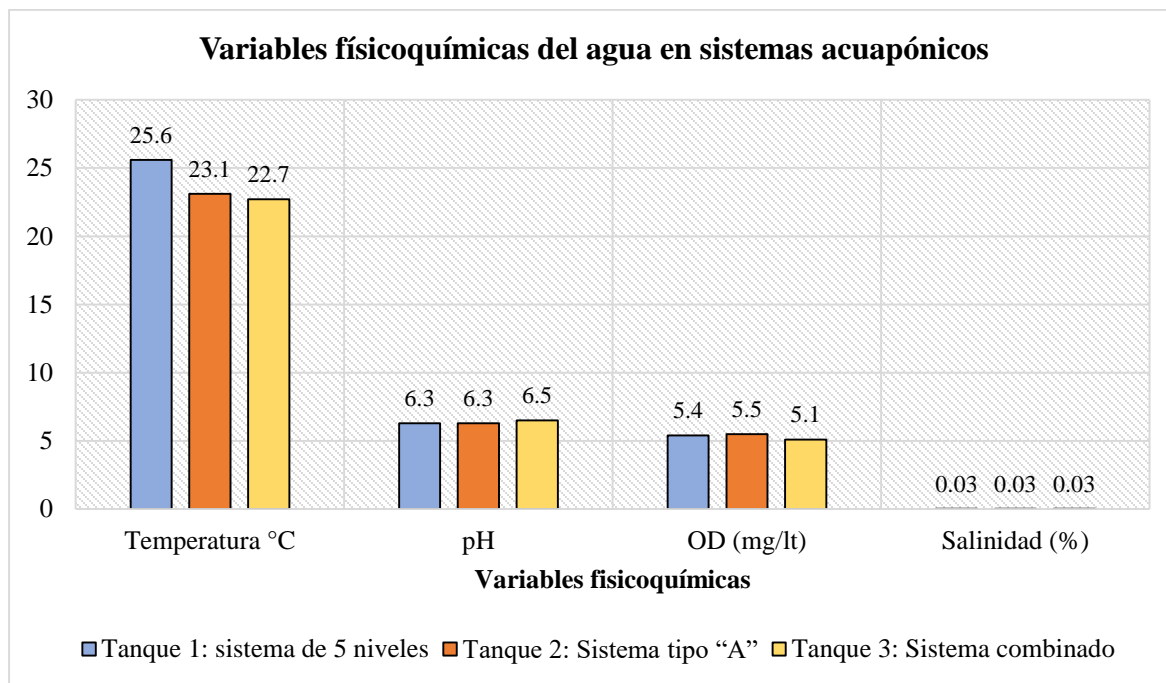


Figura 44. Variables físico químicas del agua en los tres sistemas acuapónicos.

En el caso de la salinidad no se tuvieron datos negativos, ya que, se mantuvieron a una baja concentración (0.03%) y libre de cloruro de sodio, debido a que se trata de agua lluvia, el cual no afecto al crecimiento de las plantas y por ende una conductividad eléctrica estable en los rangos que rondan los sistemas acuapónicos (Figura 45).

Para referencia, el agua de mar tiene una conductividad de 50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y SDT (Total de Sólidos Disueltos) de 35 ppt (35 000 ppm). Si bien el impacto de la salinidad en el crecimiento de las plantas varía grandemente entre las plantas, se recomienda el uso de aguas con baja salinidad. La salinidad, generalmente, es muy alta si el agua tiene una conductividad mayor a 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o una concentración de SDT mayor a 800 ppm (Candarle s.f., López 2020, Somerville *et al.* 2022).

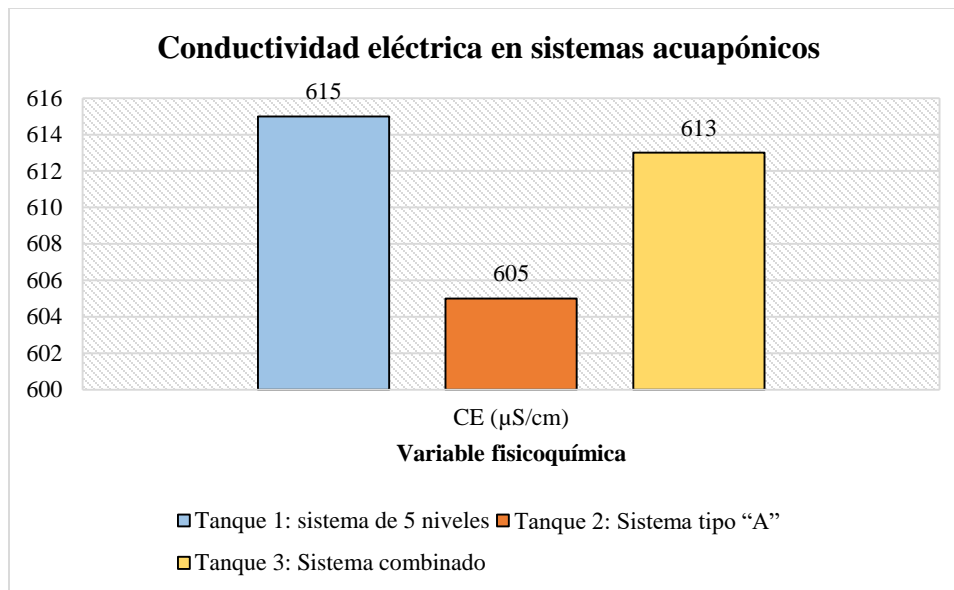


Figura 45. Conductividad Eléctrica (CE) en tres de los sistemas acuapónicos.

En resumen, los parámetros fisicoquímicos para los primeros sistemas se tuvieron que mejorar y corregir para un mejor funcionamiento de los sistemas acuapónicos posteriores, a continuación, se muestra una tabla que muestra cuales son los parámetros óptimos que se buscan con base al estudio de estos sistemas.

Cuadro 5. Parámetros físico-químicos para modelos acuapónicos

Parámetros ideales tomando en cuenta un punto medio para los tres organismos (Peces, bacterias y plantas)						
	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Amoníaco (mg/litro)	Nitrito (mg/litro)	Nitrato (mg/litro)	OD (mg/litro)
Acuaponía	18-30	6-7	-	<1	5-150	>5

Fuente: Elaborado con base a Candarle s.f., López 2020, Somerville *et al.* 2022.

8.3. Parámetros productivos de la tilapia

Como se mencionó anteriormente se trabajó con dos especies de tilapias, gris y roja, en los primeros sistemas acuapónicos se realizaron reposiciones de alevines debido a problemas de oxigenación, circulación del agua, de concentraciones altas de amoníaco por fallas de equipo eléctrico, y entre otros problemas que se fueron solventando durante el proceso de

modernización del invernadero, donde se sustituyeron dos de los sistemas acuapónicos. No obstante, el crecimiento de las tilapias ha sido favorable luego de las reposiciones de peces. Comparando las tilapias rojas con las grises, su crecimiento ha sido menor debido a que son más susceptibles a los cambios constantes en las condiciones climáticas y de variables físico-químicas del agua como el pH y el Oxígeno Disuelto (OD).

A continuación, se mostrarán los datos de pesos en gramos de las tilapias en los primeros meses de los sistemas acuapónicos, y posteriormente el crecimiento luego de las reposiciones de peces realizadas, cabe mencionar que todos los alevines se establecieron con un peso de 5 gramos y se colocaron 65 alevines en cada tanque. En los primeros resultados (Cuadro 6) se da a conocer los pesos que se obtuvieron mientras estaba cada sistema activo, y posteriormente se muestran los pesos que quedaron registrados en los últimos sistemas elaborados, se debe recalcar que las variaciones de los pesos de las tilapias no son de forma creciente en algunos resultados debido a las reposiciones de alevines y a las cosechas que se hicieron antes de lo esperado, los cuales alteran los promedios.

Cuadro 6. Pesos de tilapias en los primeros sistemas acuapónicos.

Pesos de tilapias en sistemas iniciales (g)						
N° de peces	Tanque 1 (Sistema horizontal)		Tanque 2 (Sistema tipo "A")		Tanque 3 (Sistema de sustrato)	
	Durante	Final	Durante	Final	Durante	Final
1	86	94	23	14	25	146
2	20	115	6	39	50	192
3	37	96	9	68	81	105
4	43	93	11	74	35	196
5	31	100	7	26	39	186
6	43	105	7	75	34	76
7	65	125	6	43	58	129
8	35	150	8	22	36	178
9	34	103	8	75	43	188
10	40	135	10	39	33	193
Prom.	43.4	111.6	9.5	47.5	43.4	158.9
Cosecha		60 tilapias				

Como se puede observar (Figura 46) las tilapias grises en el tanque 3 perteneciente al sistema de sustrato tiene un crecimiento mayor en comparación a los otros sistemas, esto es debido a

una mejor circulación del agua y una mejor área de nitrificación, ya que, el cascajo rojo que se ubica en cada unidad de producción de plantas aumenta la colonización de bacterias nitrificantes, y, por ende, una menor cantidad de amoníaco.

Por otra parte, en el sistema horizontal (tanque 1) se tenía una menor área de nitrificación la cual no suplía para colonizar una mayor cantidad de bacterias, esto provocaba un estrés en los peces que no permitía el consumo total del alimento, causando un menor peso en ellos.

En el tanque 2 del sistema vertical tipo “A” se obtuvieron los pesos más bajos, ya que, las tilapias rojas son más vulnerables a los cambios de temperatura, es decir, que a menor temperatura menor es el consumo de alimento, es por ello que, en comparación a los otros dos sistemas, este es el que ha presentado un crecimiento más lento.

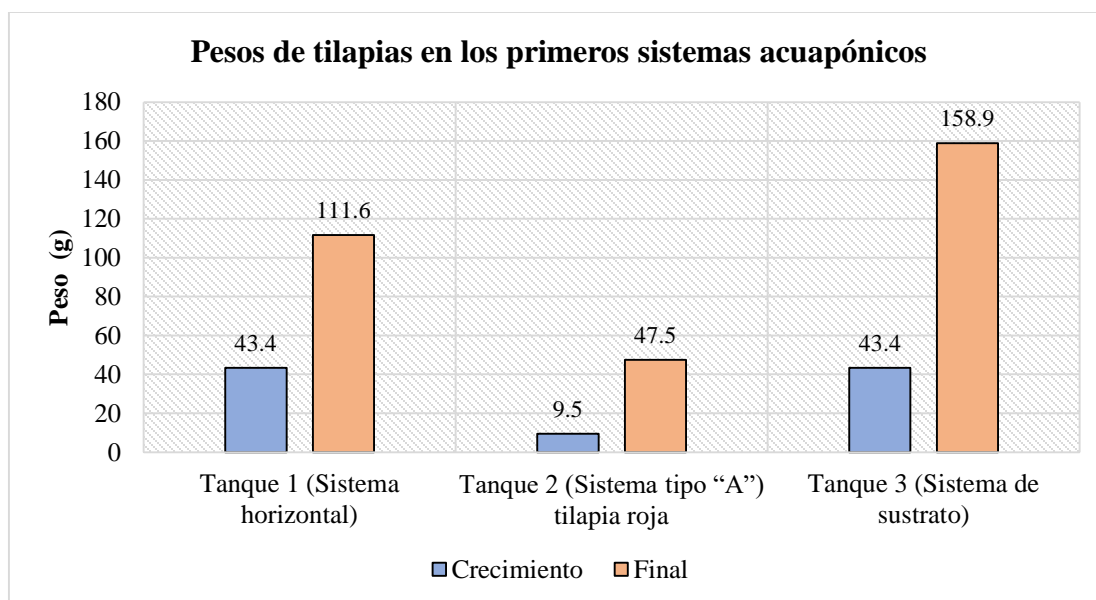


Figura 46. Pesos de tilapias en sistemas acuapónicos iniciales.

En este caso las tilapias en el tanque 1 (Sistema de 5 niveles) tienen un peso menor ya que se realizó una cosecha de tilapias y una nueva siembra de alevines, al igual que en el tanque 2 (Sistema vertical tipo “A”) se realizó una reposición de alevines a causa de problemas de oxigenación, sin embargo, en el tanque 3 (sistema combinado), se mantienen los peces del principio, es por eso que su peso es mucho más elevado en comparación a los otros dos tanques (Cuadro 7).

Cuadro 7. Pesos de tilapias en los últimos sistemas acuapónicos.

Pesos de tilapias en sistemas finales (g)			
N° de peces	Tanque 1 (Sistema de 5 niveles)	Tanque 2 (Sistema vertical tipo "A")	Tanque 3 (Sistema combinado)
1	48	77	290
2	63	80	340
3	154	85	260
4	19	69	420
5	56	72	260
6	130	75	520
7	57	80	305
8	22	83	290
9	94	89	330
10	102	90	325
Promedio	74.5	80	334

Acá se ve detalladamente el crecimiento de las tilapias en los últimos sistemas que se realizaron, en el tanque 3 es el peso óptimo para realizar cosecha (Figura 47), ya que, a un mayor peso con la densidad de tilapias que se mantiene se corre el riesgo de una intoxicación por amoníaco y de bajos niveles de OD, debido a la cantidad de excretas que se generan, para evitar este problema se necesita una mayor área de nitrificación para convertir este amoníaco a nitratos, de forma que se mantenga el agua con las condiciones óptimas para los peces, las bacterias y las plantas.

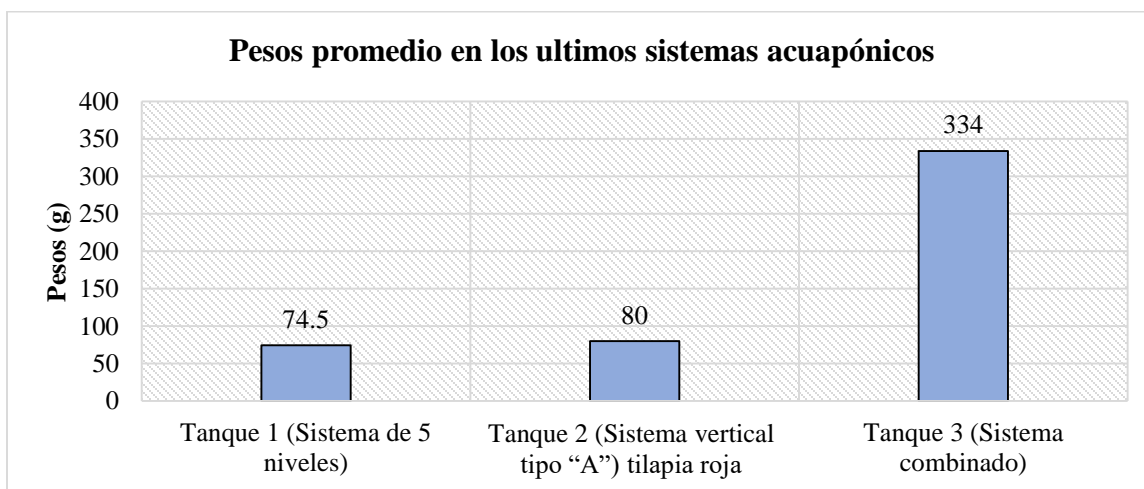


Figura 47. Pesos promedio de tilapias en los sistemas acuapónicos finales.

8.4. Parámetros productivos de las hortalizas

Con base a los datos obtenidos con el modelo acuapónico horizontal se puede decir que sus resultados han sido favorables en cuanto al desarrollo de hortalizas de hoja como la acelga, lechugas y apio, haciendo uso de cascajo rojo para el sostén de las plantas, sin embargo, para cebollín de bulbo su crecimiento no fue el esperado (Cuadro 8).

Cuadro 8. Datos promedio de hortalizas en el sistema horizontal.

Sistema acuapónico horizontal						
Cultivo	Variables promedio					
	Diámetro (cm)	Nº de hojas	Largo de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)	Peso (g)	Altura (cm)
Lechuga repollada	1.1	18.1	22.7	15.3	126.6	
Acelga	1.1	9	37.64	12.55	110.8	
Cebollín	0.7	11	-	-	37.1	59.7
Apio	3.3	15	52.5	19.1	168.4	
Lechuga escarola	1	52	17.6	13.8	143	

En el primer ciclo de producción del modelo acuapónico vertical tipo “A”, el crecimiento de distintas variedades de lechuga (morada, romana, escarola, repollada y palmito) fue favorable luego de diferentes pruebas, al igual que otros cultivos de hoja como el apio y la albahaca (Cuadro 9). En este caso también se presentó un mejor desarrollo usando cascajo rojo fino, ya que, se realizó una prueba de ciclo de producción con esponja dando como resultado poco crecimiento y desarrollo en las plantas, debido a que no se tenía un área de nitrificación con este material, además, cultivos como el brócoli no se desarrollaron, a causa de que el sistema se sobrecarga con la cantidad de plantas y no se abastecía por la demanda de nutrientes de estos cultivos.

Cuadro 9. Datos promedio de hortalizas en el sistema vertical tipo “A”.

Sistema acuapónico vertical tipo “A”					
Cultivo	Variables promedio				
	Diámetro (cm)	Nº de hojas	Largo de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)	Peso (g)
Lechuga morada	0.94	17	19.5	15.3	95.9

Lechuga romana	1.05	19.6	21.1	10.52	90.4
Lechuga escarola	1	43.2	17.8	12.4	150.3
Lechuga repollada	1.32	18.3	24.6	16.9	138.7
Apio	3.2	13.5	51.1	18	163.6
Albahaca	0.51	46	14.55	6.8	26.8

En el último ciclo de producción en el sistema tipo “A” se tuvieron variaciones en los datos promedio, esto debido a que hubo una mejor asimilación de los nutrientes, ya que se presentaron mejores resultados en cuanto a las hortalizas (Cuadro 10), como, por ejemplo la lechuga romana en el primer ciclo de producción se tuvo un peso promedio de 90.4 gramos y en el segundo 175 gramos, aunque en algunos casos se disminuyó, esto puede ser a causa de la posición de los cultivos a los cuales no recibían la misma cantidad de luz solar.

Cuadro 10. Datos promedio de cosecha en el segundo ciclo de producción sistema tipo “A”.

Datos promedio de cosecha en el sistema vertical tipo “A”				
Cultivo	Variables promedio			
	Peso (g)	N° de hojas	Largo de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)
Lechuga morada	79	15	20.6	11.8
Lechuga rizada	136	17	19.8	12.0
Lechuga romana	175	20	27.9	14.3
Lechuga escarola	150	42	17.8	12.4
Lechuga repollada	139	18	24.6	16.9
Apio	164	14	51.1	18

Para el caso del sistema de sustrato se experimentó con cultivos de fruto como tomate y chile dulce, hortalizas de hoja e incluso de tubérculo (papa), a pesar de que se obtuvieron cosechas (Cuadro 11) no fue el máximo de producción de las plantas, por lo cual, los resultados obtenidos no fueron favorables, ya que, con este sistema no se lograba suplir la demanda de nutrientes, por lo que se decidió sustituir este sistema.

Cuadro 11. Datos promedio de frutos en el sistema vertical de sustrato.

N° muestra	Pesos de frutos (g)		
	Tomate (g)	Chile dulce (g)	Papa (g)
1	62	118	15
2	64	100	13
3	68	93	14
4	58	90	10
5	63	112	18
6	60	109	9
7	64	89	11
8	59	93	10
9	64	101	8
10	60	105	12
TOTAL	622	1,010	120
Promedio	62.2	101	12

El modelo de cinco niveles aún está en su primer ciclo de producción, y estos datos fueron tomados de las plantas que ya estaban listas para ser cosechadas, en especial las variedades de lechugas, sin embargo, otro cultivo establecido fue el apio, pero aún no se tenían datos de cosecha, ya que es un cultivo que necesita más tiempo. En este sistema también se utilizó cascajo rojo fino por ser un sustrato que ha mostrado buenos resultados, manteniendo un flujo del agua constante y un buen sistema de biofiltración para la generación de nitratos.

Cuadro 12. Datos promedio de hortalizas en el sistema de cinco niveles.

Datos promedio de cosecha en el sistema vertical de 5 niveles				
Cultivo	Variables promedio			
	Peso (g)	N° de hojas	Largo de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)
Lechuga repollada	147	20	28.1	19.3
Lechuga risada	201	26	22.9	14.3
Lechuga romana	210	23	30.3	13.4

El modelo combinado esta dividido por una cama de sustrato “Peat moss”, de torre (tubos verticales de 2 metros de altura) y cama flotante, de igual forma los cultivos de la cama flotante y sustrato aún no se presentaba su tiempo de cosecha para la toma de datos por ser

su primer ciclo de producción, pero del sistema de torre si se tomaron plantas para cosecha el cual demuestran que sus pesos son menores en comparación a los demás sistemas (Cuadro 13), a pesar que se ha presentado un buen crecimiento y desarrollo de las plantas, en el cual se ha establecido cinco variedades de lechuga: batavia, romana, repollada, palmito y morada; se debe mejorar e implementar otras medidas para este sistema.

Cuadro 13. Datos promedio de cosecha en el sistema combinado.

Datos promedio de cosecha en sistema vertical tipo torre				
Cultivo	Variables promedio			
	Peso (g)	N° de hojas	Largo de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)
Lechuga morada	51	15	24.3	11.55
Lechuga repollada	51	14	23.8	10.6

Se puede decir que si deseamos un rendimiento total de las hortalizas con su fuente de nutrición (peces), tomando los 50 m² del invernadero tendríamos un rendimiento de 2.0 kg/m² y en el caso de las tilapias si contamos la purificación del agua a través de las plantas 1.17 kg/m². Visto de otra forma se pueden sembrar 15 lechugas/m² (Figura 42) lo cual corresponde un rendimiento mayor que un sistema tradicional o de siembra en tierra.

De acuerdo a Lennard y Ward (2019) consiguieron una producción de 15 lechugas/m² en cama de siembra, lo que constituye un rendimiento mayor en correspondencia con un cultivo tradicional. Sin embargo, Bautista *et al.* (2021) han demostrado que se pueden obtener 19 lechugas/m².

Según Alpízar (2004), el rendimiento del cultivo en suelo, genera en forma tradicional una productividad de seis a ocho lechugas/m². Así, los resultados de Lennard y Ward (2019) y los propios, coinciden con lo que menciona Wu *et al.* (2019) al señalar que el nivel de producción es mejor en los Sistemas Acuapónicos y en los Sistemas Hidropónicos, en comparación con los sistemas de siembra en tierra. Por otro lado, Jiménez (2020) demostró que, por cada m³ de agua de cultivo de peces, se incorpora al sistema entre dos y 10 m² de área de cultivo hidropónico (proporción 10:1).

8.5. Material didáctico

Actualmente con estos módulos establecidos (de cinco niveles, vertical tipo “A” y combinado) se aumentó la producción de plantas dentro del invernadero, aprovechando de mejor manera el espacio y los recursos. El número de plantas que se tienen en total son de 750 entre ellas variedades de lechugas, apios y otras, 130 tilapias grises y 65 tilapias rojas. Con la implementación de estos sistemas, las actividades y con las experiencias se ha logrado adquirir conocimiento del manejo, del montaje tanto de la producción de hortalizas, como la de peces en estos sistemas. Además de diferentes habilidades como lo son la planificación de actividades, trabajo en equipo, exposiciones, resolución de problemas, redacción de informes técnicos y documentos como evidencia del invernadero.

En relación, a estos sistemas se elaboraron cartillas y un QR (Figura 4) de los sistemas que han sido favorables en cuanto su relación costo-beneficio, ya que, se realizó un análisis de los costos de inversión inicial que tiene cada sistema acuapónico, para tener un costo total para el funcionamiento mensual y anual de los sistemas. Gracias a ello, se puede ver de una forma comercial, más allá de solamente tener este tipo de sistema como agricultura familiar.

Por otra parte, se obtuvieron habilidades y destrezas en cuenta a diferentes temas en salidas de campo a parcelas demostrativas del proyecto AGRO-INNOVA, en el cual se obtuvo interacción e intercambio de experiencias con los productores (Figura 36 y 38). Y de igual forma con el fortalecimiento de conocimientos en la elaboración de biofertilizantes y distintas capacitaciones como la ELTSA (Escuela de Líderes Salvadoreña) (Figura 37), y por parte del proyecto NAMA también sobre como impartir ECA's, la elaboración y uso de probióticos en la alimentación bovina; la instalación, uso y manejo de cercas eléctricas fotovoltaicas en la ganadería bovina, el uso de los registros técnicos en fincas ganadera y acerca Pastoreo Racional Voisin (PRV), con el objetivo de fortalecer las capacidades técnicas de las instituciones que participan en programa de asistencia del proyecto, para que puedan transmitir los conocimientos a los ganaderos que se atienden mediante asistencia técnica (Figura 39).

9. Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos de la producción de hortalizas de hoja y peces en los diferentes sistemas acuapónicos, en relación a la capacidad y calidad de los productos, y del funcionamiento en si de los sistemas en cuanto a parámetros físico y químicos del agua se puede decir que el sistema acuapónico horizontal de cinco niveles es la mejor alternativa de producción sostenible que puede ser aplicada en sistemas de agricultura familiar y huertos caseros, por su adaptabilidad y menor costo de inversión en relación a la cantidad de alimentos orgánicos, uso del espacio y uso de los recursos, aunado a ello siendo amigable con el medio ambiente a través del uso de energía renovable.

Como alternativa comercial la mejor opción es un sistema acuapónico de modelo vertical tipo "A" utilizando tilapia gris, a pesar que requiere un mayor costo de inversión y de trabajo en su montaje, su producción es más intensiva y por ende más productiva.

Según las experiencias obtenidas con el establecimiento de hortalizas en la acuaponía el manejo agronómico es muy distinto en comparación a la agricultura convencional, es por ello que se deben conocer y aprender las técnicas de manejo de las tres vidas en juego del sistema: las plantas, se deben seleccionar con base a las condiciones climáticas que se adapten a la zona, además de una constante revisión de hojas y raíces en caso de problemas por hongos y plagas, ya que, no se deben utilizar pesticidas por el bien de los peces y las bacterias, en el caso de los peces, también deben ser seleccionados con respecto a la zona, para determinar si serán peces de clima frio o caliente, su manejo consiste en una buena oxigenación del agua y circulación de la misma por su densidad de siembra, y las bacterias nitrificantes con un buen sistema de biofiltración y oxigenación, ya que, con esto se logra garantizar un mayor potencial productivo y de calidad.

En cuestión de mano de obra una vez establecido los sistemas acuapónicos no requiere de mucho esfuerzo físico, y de permanecer todo el tiempo en cuidado y manejo del sistema, si no, más bien se pueden realizar otras actividades durante el día, ya que, los sistemas son auto sostenibles si los equipos funcionan bien y con la calibración correcta. Cabe mencionar que el trabajo más exigente se realiza en el montaje de los sistemas, y los días que requiere más horas de trabajo son los días de trasplante y cosecha.

Con la pasantía de práctica profesional se logró contribuir al desarrollo de habilidades, destrezas, conocimiento, formación y fortalecimiento de las bases académicas del pasante, en temas pocos vistos y en el apoyo y participación de visitas técnicas, capacitaciones y talleres en los cuales se logró recibir saberes de temas relacionados a proyectos dentro de la Institución y de experiencias de profesionales de instituciones gubernamentales en pro de la mejora del ámbito agrícola en el país.

10. Recomendaciones

- ❖ Elegir cultivos y peces a establecer según corresponda la zona para implementar cualquiera de los sistemas acuapónicos, tomando en cuenta las condiciones climáticas.
- ❖ Elaborar un buen sistema de biofiltrado en los sistemas acuapónicos a realizar, para la obtención de una buena colonización de bacterias nitrificantes y por ende excelentes condiciones físico químicas del agua, donde persista una simbiosis óptima de todos los componentes del sistema.
- ❖ Reutilizar equipos y materiales dentro del terreno u hogar que puedan ser utilizado en los sistemas acuapónicos de agricultura familiar, huertos caseros o incluso como negocio, con el objetivo de minimizar costos e inversión.
- ❖ Adquirir el alimento para peces necesario según la cantidad y su ciclo productivo, ya que, su fecha de vencimiento es corto (meses si es paletizado).
- ❖ No suministrar productos químicos a las plantas y que pueda entrar en contacto con el agua, ya que, esto causaría toxicidad y posteriormente la muerte de los peces.
- ❖ Brindar una buena condición de OD en cualquiera de los sistemas acuapónicos a implementar para garantizar su productividad máxima.
- ❖ Se debe realizar una mejor gestión por parte del área administrativa de la Institución, en cuanto a la compra de equipos e insumos con base a los presupuestos y equipos que se entregan.
- ❖ Delegar a una persona que este a cargo del invernadero cuando no exista la posibilidad de un pasante, para garantizar el funcionamiento del mismo y brindar el mantenimiento de los sistemas cuando sea necesario.
- ❖ Adecuar el espacio y las zonas de trabajo para personal y pasantes dentro de la Institución con el fin de ofrecer las condiciones óptimas en labores de oficina.

11. Bibliografía

- Alpizar, A. L. 2004. Hidroponía cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Bautista AL; Fernández DR; Álvarez Chávez CR; Sánchez Mexia AC; Mendoza-Cariño M; García CK. 2021. Productividad de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) en acuaponía e hidroponía. *European Scientific Journal*, ESJ, 17(21), 283. Consultado 22 ene. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n21p283>
- Candarle, P. 2014. Técnicas de acuaponía (en línea). CENADAC, Argentina. Consultado 01 dic. 2023. Disponible en https://drive.google.com/file/d/1qGDOEtXKpVtcVsvqDRw_8nzj66i9mv/view
- Google Earth. 2022. Localización Representación IICA El Salvador, Centro de Desarrollo Pesquero, Santa Tecla (en línea). Consultado 20 nov. 2023. Disponible en <https://shre.ink/TjRU>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2023a. Representación El Salvador (sitio web, en línea). Consultado 20 nov. 2023. Disponible en <https://iica.int/es/countries/el-salvador>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2023b. Sobre el IICA (sitio web, en línea). Consultado 21 nov. 2023. Disponible en <https://iica.int/es/about-us/main>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), MAG (Ministerio de Agricultura de El Salvador), BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 1994. Estructura y funcionamiento del Departamento de Recursos Humanos de la Secretaría de Estado del Ministerio de Agricultura y Ganadería (en línea). Consultado 01 dic. 2023 Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11880>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2022. El Salvador: logros significativos 2021 (en línea). Consultado 02 dic. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/20226>

- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2023c. Formulación de Acciones Euroclima+: Construcción de la NAMA en Ganadería Bovina de El Salvador (en línea). Consultado 02 dic. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21625>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2019a. AGRO-INNOVA: Sistemas Agroforestales Adaptados para el Corredor Seco Centroamericano (en línea). Consultado 29 nov. 2023. Disponible en <https://agroinnova.iica.int/>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2018. Gestión empresarial táctica y operativa: El mercado y la comercialización (en línea). Consultado 05 dic. 2023. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7088/BVE18040224e.pdf>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2024. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala. Cultivo integral de peces y plantas (en línea, sitio web). Consultado 20 ene. 2024. Disponible en <https://bio-emprender.iica.int/iica-tools/produccion-de-alimentos-en-acuaponia-a-pequena-escala-cultivo-integral-de-peces-y-plantas/>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2019b. Construcción de sistema de acuaponía (en línea, sitio web). Consultado 20 ene. 2024. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21123>
- Jiménez, O. 2020. Acuaponía: una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos. III Congreso virtual internacional sobre economía social y desarrollo local sostenible.
- Lennard, W. A; Ward. 2019. A Comparison of Plant Growth Rates between an NFT Hydroponic System and an NFT Aquaponic System. *Horticulturae*, 5(2), 27. Consultado 22 ene. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.3390/horticulturae5020027>.
- López, JA. 2020. Cultivo acuapónico: Guía especializada (en línea). Consultado 10 dic. 2023. Disponible en <https://cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>

- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2021. RECETO: l camino hacia la seguridad y soberanía alimentaria (en línea). Consultado 06 dic. 2023. Disponible en <https://www.mag.gob.sv/2021/12/09/comienza-receto-el-camino-hacia-la-seguridad-y-soberania-alimentaria/>
- Mapcarta. 2023. Municipio de Santa Tecla (en línea). Consultado 04 dic. 2023. Disponible en <https://mapcarta.com/es/19514188>
- Mayoral, JA; Dimitrov, IR; Yamada, S. 2020. Manual técnico sobre acuaponía combinada con cultivo a cielo abierto adaptando en zonas áridas (en línea). ISBN 978-4-9907587-9-0. Consultado 05 dic. 2023. Disponible en <https://www.repositorionacionalcti.mx/recursos/oai:cibnor.repositorioinstitucional.mx:1001/2352>
- Somerville, C; Cohen, M; Pantanella, E; Stankus, A; Lovatelli, A. 2022. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala: Cultivo integral de peces y plantas (en línea). FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589. FAO, Roma. Consultado 06 dic. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Wu, F; Ghamkhar, R; Ashton, W; Hicks, AL. 2019. Sustainable Seafood and Vegetable Production: Aquaponics as a Potential Opportunity in Urban Areas. *Integrated Environmental Assessment Management*, 15(6), 832-843. Consultado 22 ene. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.1002/ieam.4187>

12. Anexos

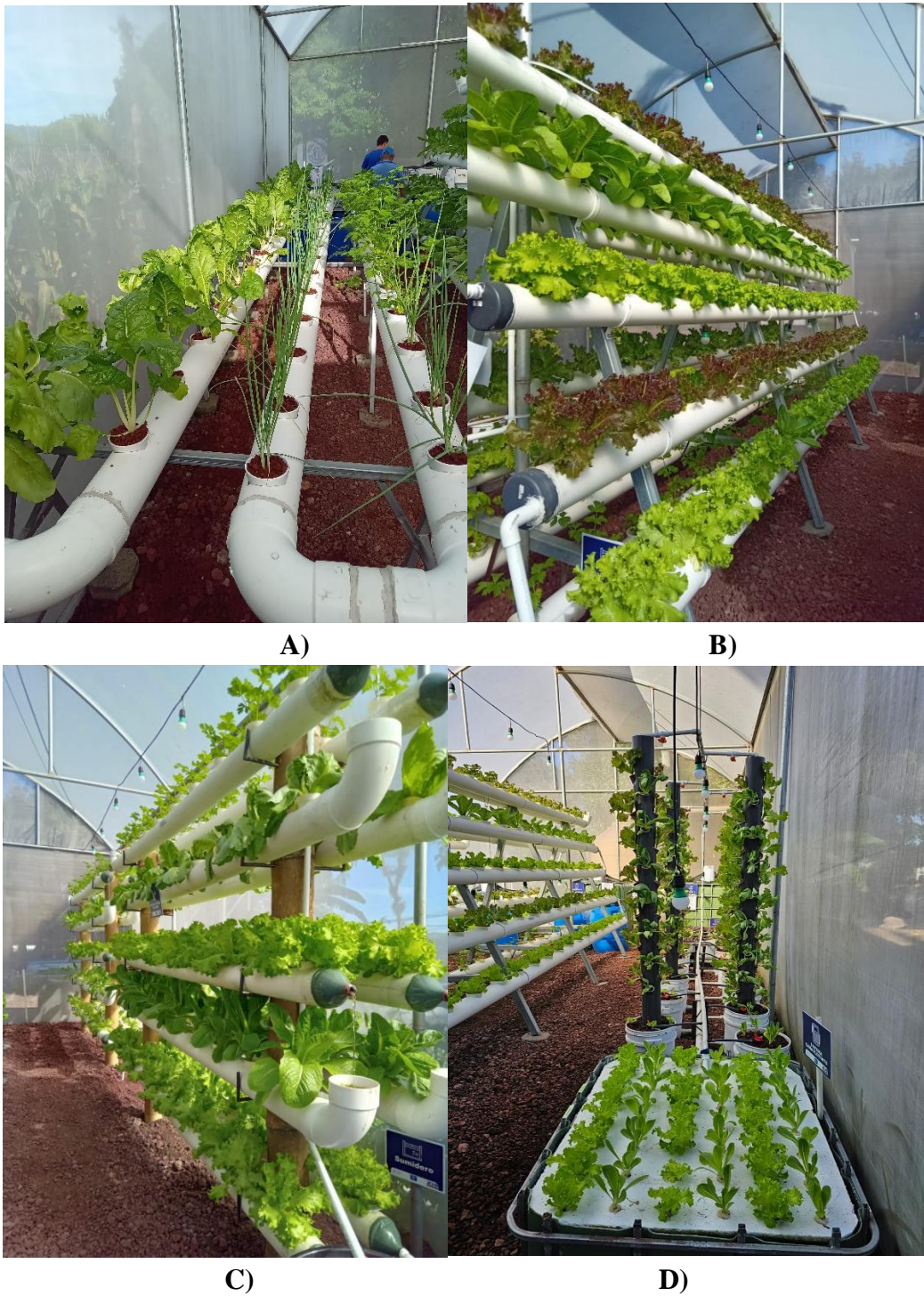


Figura A1. Sistemas acuapónicos en producción: A) Sistema horizontal, B) Sistema vertical tipo “A”, C) Sistema de 5 niveles, D) Sistema combinado.