



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN GESTIÓN DEL DESARROLLO SOCIAL

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS ACUAPÓNICOS EN LA COMUNIDAD RURAL DE SAN FELIPE COAPEXCO, MUNICIPIO DE COHUECAN, PUEBLA

ANA PAOLA LOPEZ SANDOVAL

TESINA
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA PROFESIONALIZANTE

PUEBLA, PUEBLA
2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

La presente tesina, titulada: **Diseño y Construcción de Sistemas Acuapónicos en la Comunidad Rural de San Felipe Coapexco, Municipio de Cohuecan, Puebla**, realizada por la alumna: **Ana Paola López Sandoval** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA PROFESIONALIZANTE
GESTIÓN DEL DESARROLLO SOCIAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. LUCIANO AGUIRRE ÁLVAREZ

ASESOR:


DR. JESÚS FELIPE ÁLVAREZ GAXIOLA

ASESOR:


DR. JUAN ALBERTO PAREDES SÁNCHEZ

ASESOR:


DR. JUAN LORENZO RETA MENDIOLA

Puebla, Puebla, México, diciembre del 2022

Diseño y Construcción de Sistemas Acuapónicos en la Comunidad Rural de San Felipe Coapexco, Municipio de Cohuecan, Puebla

López Sandoval Ana Paola, M.P.

Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

La Acuaponía es un sistema novedoso orientado al uso eficiente del agua y optimización del espacio para la producción sustentable de alimentos, combinando peces y vegetales; además de ser una tecnología con alta versatilidad, en explotaciones tanto a gran escala y altamente tecnificada y a pequeña escala dentro de sistemas tradicionales. A pesar de sus bondades es una tecnología poco conocida y practicada dentro de las actividades de la agricultura familiar, quizá por su grado de complejidad y lo novedosa que es. El objetivo general del presente trabajo consiste en diseñar un sistema de Acuaponía que responda a las condiciones de las familias que practican la agricultura familiar en San Felipe Coapexco, para generar una propuesta de un modelo de Acuaponía que permita fortalecer la integralidad del traspatio. Para lo cual es necesario identificar las características socioculturales y productivas de las familias del grupo “Nuevo Amanecer” de la comunidad objeto de estudio, sus limitantes y fortalezas, así como las expectativas y aceptación de las productoras y productores del grupo en cuestión con respecto a los productos obtenidos en dichos sistemas de Acuaponía.

Se aplicó una estrategia metodológica que incluye tanto, aspectos (dominios) de tipo tecnológico como sociocultural: En lo relativo a la tecnología de los sistemas acuapónicos se generó y probó en las instalaciones del Campus Puebla un modelo basado en tanques IBC; en este mismo dominio se realizó una prueba (implementación en campo) con familias de la comunidad. En el aspecto (dominio) sociocultural se llevó a cabo un proceso de enseñanza aprendizaje con los miembros de las nueve familias del grupo “Nuevo Amanecer”, que incluyó talleres, capacitación y acompañamiento a dos familias que decidieron instalar sus respectivos sistemas acuapónicos; las actividades se llevaron a cabo de manera participativa; además se aplicaron cuestionarios semiestructurados para captar información referida a los aspectos socioculturales.

Entre los resultados destacan, la adaptación de un sistema acuapónico experimental semi-intensivo de 90 peces por m^3 de agua y una producción vegetal de $3m^2$. Se establecieron dos sistemas acuapónicos integrados al traspatio, con una densidad de 50 peces/ m^3 con 3 a 5 m^2 de área vegetal. Se concluye que los factores críticos fueron: la disponibilidad de energía eléctrica, de materiales y equipo e inversión inicial; así como el establecimiento de un proceso de enseñanza-aprendizaje del sistema. La Acuaponía se considera una propuesta de innovación técnico-social para el fomento de la seguridad alimentaria en San Felipe Coapexco y regiones similares.

Palabras clave: Acuaponía, Agricultura familiar, Seguridad alimentaria, Innovación, Traspatio integral

Design and building of Aquaponics Systems in the Rural Community of San Felipe Coapexco, Cohuecan, Puebla

López Sandoval Ana Paola, M.P.

Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

Aquaponics is a novelty system oriented to use water efficiently and optimize space to produce sustainable food, combining fish and vegetables. It is a versatile technology applied to both highly technified systems of large-scale and traditional systems and small scale. Despite the benefits of this technology, it is little known and practiced within the activities family agriculture, perhaps due to its complexity and the novel it is. The general objective of the present document consists in designing an aquaponic system to fit the conditions of the families in San Felipe Coapexco, for proposing an Aquaponics model to permit strengthen an integral backyard production. It was necessary to identify the sociocultural and productive characteristics of the families of the group “Nuevo Amanecer” of the community object of study, as well as the expectations and acceptance of the farmers to respect of products obtained in the Aquaponic systems.

The methodological strategy included aspects, the technological which generated a model with IBC tanks that was verified in the facilities of the Campus Puebla and it was tested with two families of the community; about the sociocultural a “teaching –learning process was carried out with the nine families of the group “Nuevo Amanecer”, which included workshops, trainings, and accompaniment for two families who accepted to install their respective Aquaponics systems; the activities were participative; and semi-structured questionnaires were applied to capture sociocultural information.

The principal results in technological aspects highlight a semi-intensive aquaponic experimental system with 90 tilapias per m³ and 3m² of vegetal production. The test of this model with the families was with 50 tilapia/m³ with 3-5 m² vegetal production.

It was concluded that the critical factors in technological aspects were availability of electrical power, material and equipment, and the initial investment. In relation to sociocultural aspect, it is distinguished the importance of the “teaching- learning” process to diffuse Aquaponic systems. Finally, Aquaponic technology is considered a proposal of technical-social innovation to promote food security in San Felipe Coapexco and similar regions.

Key words: Aquaponics, Family agriculture, Innovation, integral backyard, food security

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado por medio del programa de Becas para Estudios de Postgrado, lo cual permitió que lograra estudiar y culminar mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al Campus Puebla por el apoyo y atenciones brindadas durante mis estudios.

Al Postgrado Profesionalizante en Gestión del Desarrollo Social, tanto al coordinador como a todos los profesores que conforman dicho programa, por las enseñanzas, conocimientos, atención, y apoyo incondicional.

A mi consejero, el Dr. Luciano Aguirre Álvarez, le brindo mis más sinceros agradecimientos por el gran apoyo y consejos que me proporcionó durante estos dos años.

A mi consejo particular, conformado por el Dr. Felipe Álvarez, Dr. Alberto Paredes y el Dr. Juan Reta, por estar presentes durante todo mi proceso, por sus recomendaciones, enseñanzas y experiencia compartida.

Agradezco profundamente al grupo “Nuevo Amanecer” de San Felipe Coapexco y particularmente a las familias Villalba España y Díaz Marín, por su tiempo, atención y permitirme aprender con ellos. Muchas gracias

Así mismo, a mis compañeras de generación, Tere, Iri y Maru, por su amistad y en general a la comunidad COLPOS Campus Puebla, gracias.

Finalmente, a mi familia, por ser mi gran fuente de inspiración y apoyo.

DEDICATORIA

Principalmente este esfuerzo es dedicado para mis padres, Julio Roberto y Lupita Sandoval, por ser mis grandes pilares, mi fuerza, inspiración, motivación y apoyo; ustedes me han enseñado el gran significado de la paciencia, el amor, responsabilidad y la perseverancia.

A mis hermanas queridas, Sanlee y Lupita, por estar siempre acompañándome y dejándome aprender de ustedes. Para mi cuñado Sergio, por querer tanto a nuestra familia.

A mí amado sobrino Julio Mateo, porque eres nuestra motivación y la gran alegría de nuestros corazones.

A mi gran amigo Luciano, eres mi maestro de vida. GRACIAS.

Y a ti, Víctor, por tomarme fuertemente de la mano en este camino de la vida.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Análisis de la Situación Problemática.....	4
1.2 Pregunta General.....	9
1.3 Preguntas Específicas.....	10
II OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo General.....	11
2.2 Objetivos Específicos.....	11
III REVISIÓN DE LITERATURA	12
3.1 Desarrollo Rural ¿Cuál Desarrollo?.....	12
3.2 Apropiación Social del Conocimiento Científico y Tecnológico y la Innovación Social.....	12
3.2.1 Apropiación social del conocimiento científico y tecnológico.....	12
3.3 La Innovación Social.....	16

3.4 Agricultura Familiar.....	19
3.5 Racionalidad Económica y Productiva de la Agricultura Familiar.....	22
3.6 Modelo Teórico “Mandala del Traspatio” para la Incorporación de Innovaciones Tecnológicas como los Sistemas Acuapónicos.....	24
3.7 La Seguridad Alimentaria.....	29
3.8 Soberanía Alimentaria.....	30
3.9 La Acuaponía.....	32
3.9.1 Historia de la Acuaponía.....	33
3.9.2 La Acuaponía actual.....	35
3.9.3 Acuaponía para el autoconsumo.....	38
3.10 Herramientas de Diseño.....	39
3.11 Conceptos sobre la Investigación Acción Participativa.....	42
3.12 Características Físicas del Área Objeto de Estudio.....	45
3.13 Características Socioeconómicas del Área Objeto de Estudio.....	45
IV MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
4.1 Metodología del Mejoramiento del Traspatio.....	47
4.2 Fundamento Metodológico.....	50
4.2.1 Etapa I: Dominio de la tecnología de Acuaponía.....	53
4.2.1.1 Materiales, equipo y parámetros de seguimiento del Sistema Experimental Acuapónico.....	55
4.2.1.1.1 Parámetros fisicoquímicos del agua.....	56

4.2.1.1.2 Biometría de peces.....	56
4.2.1.2 Análisis económico.....	58
4.3 Etapa 2: Implementación-Validación en Campo.....	59
4.3.1 Presentación y diagnóstico.....	59
4.3.2 Enseñanza aprendizaje.....	59
4.3.3 Reconocimiento de fortalezas y deficiencias de los sistemas e impresión de los participantes.....	60
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
5.1 Dominio de la Tecnología.....	61
5.1.1 Fases determinantes para el dominio de la tecnología de Acuaponía en la región Valles de Puebla.....	61
5.1.1.1 Actividades previas: Construcción y diseño de un invernadero.....	61
5.1.1.2 Actividades de diseño, operación, seguimiento y análisis económico del sistema establecido.....	62
5.1.2 Descripción del sistema experimental acuapónico.....	64
5.1.2.1 Estanque de peces.....	64
5.1.2.1.1 Especie acuática cultivada: <i>Oreochromis niloticus</i>	65
5.1.2.2 Filtración: sedimentador de flujo radial y biofiltro.....	65
5.1.2.3. Producción vegetal: Hidroponía.....	67
5.1.2.3.1 Sustrato.....	67
5.1.2.3.2 Balsa flotante.....	68

5.1.2.3.3 Película nutritiva o NTF (por sus siglas en ingles Nutrient Film Technique).....	69
5.1.2.4 Tanque recolector o sumidero.....	70
5.1.3 Análisis Económico del Sistema Acuapónico Experimental Campus Puebla.....	76
5.2 Implementación en Campo.....	79
5.2.1 Diagnóstico y presentación.....	79
5.2.2 Enseñanza aprendizaje.....	83
5.2.2.1 Diseño y construcción del módulo familia Villalba España.....	85
5.2.2.2 Diseño y construcción del módulo familia Díaz Marín.....	88
5.2.2.3 Características de los dos Sistemas acuapónicos.....	88
5.2.2.4 Siembra de hortalizas.....	92
5.2.2.5 Siembra de tilapia.....	94
5.2.2.6 Seguimiento de los módulos establecidos.....	96
5.3 Reconocimiento de Fortalezas y Deficiencias de los Sistemas e Impresión de los Participantes.....	102
5.3.1 Degustación de platillos.....	104
5.4 Propuesta de un Modelo de Sistema Acuapónico Familiar.....	106
VI CONCLUSIONES.....	108
VII LITERATURA CITADA.....	110
ANEXOS.....	114

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Seguimiento del cultivo de tilapia por medio de biometrías.....	72
Cuadro 2. Parámetros de calidad del agua para el sistema de Acuaponía.....	75
Cuadro 3. Análisis económico del Sistema acuapónico experimental, Campus Puebla.....	77
Cuadro 4. Indicadores sociales del Sistema acuapónico experimental, Campus Puebla.....	78
Cuadro 5. Diversidad productiva de los entrevistados.....	82
Cuadro 6. Datos de seguimiento de los dos sistemas implementados en campo.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo teórico descriptivo modificado del traspatio basado en la unidad básica de producción familiar, integrando a la tecnología de Acuaponía.....	28
Figura 2. Chinampas.....	34
Figura 3. Mujeres en el distrito de Güillín en China, en los tradicionales arrozales.....	35
Figura 4. Cosecha de lechuga bajo la tecnología de acuaponía, Islas Vírgenes.....	35
Figura 5. Flor de la Permacultura: La ética de la Permacultura.....	41
Figura 6. Diseño de uno de los primeros sistemas acuapónicos instalados en casa de la señora Lucia, en San Lorenzo Almecatla.....	49
Figura 7. Guía metodológica del presente trabajo.....	52
Figura 8. Materiales y equipos empleados para el seguimiento al Sistema acuapónico.....	57
Figura 9. Preparación de apartados para biometría.....	58
Figura 10. Medición de peso de tilapia.....	58
Figura 11. Diagrama del sistema experimental en el colegio de postgraduados, campus Puebla.....	62
Figura 12. Acondicionamiento y adecuación del tanque de peces.....	64
Figura 13. Descripción del flujo de entrada del agua al sedimentador.....	66
Figura 14. Diagrama del funcionamiento de sedimentador de flujo radial.....	66

Figura 15. Biofiltro.....	67
Figura 16. Vista lateral y aérea del Componente 2.....	67
Figura 17. Cultivo en sustrato y sus elementos.....	68
Figura 18. Cultivo en balsa flotante.....	69
Figura 19. Cultivo en NFT y sus elementos.....	69
Figura 20. Caja receptora de sólidos en tanque sumidero.....	70
Figura 21. Suministro de agua al Componente 3.....	70
Figura 22. Crecimiento de tilapia.....	73
Figura 23. Medición de parámetros de concentración de Amonio, Nitratos, Nitritos.....	73
Figura 24. Cosecha y crecimiento de cultivo de lechuga orejona y fresa.....	74
Figura 25. Capacitación sobre la Acuaponía y la soberanía alimentaria.....	83
Figura 26. Capacitación sobre componentes de Acuaponía.....	83
Figura 27. Taller presencial en Campus Puebla.....	84
Figura 28. Propuesta del diseño generado en el taller participativo con los integrantes del grupo.....	85
Figura 29. Finalización de la primera etapa de construcción del sistema acuapónico familia Villalba.....	87
Figura 30. Bajo alfombra para mantener la temperatura del agua.....	87
Figura 31. Uso de materiales reciclados que se encontraban dentro del traspatio de la familia.....	88

Figura 32. Construcción de la primera etapa del sistema de la familia Díaz Marín.....	90
Figura 33. Familia Díaz Marín construyendo el cultivo NFT.....	90
Figura 34. Proceso de construcción del sistema de la familia Díaz Marín.....	90
Figura 35. Componentes de los Sistemas acuapónicos implementados en campo.....	91
Figura 36. Siembra de plántula en los sistemas.....	92
Figura 37. Crecimiento de cultivo en sustrato de lechugas y aromáticas Familia Díaz Marín.....	93
Figura 38. Procedimiento de siembra de plántula de lechuga para NFT que se les enseñó a los participantes.....	93
Figura 39. Familia Villalba manejando los primeros organismos para sembrar en los tanques.....	94
Figura 40. Biometría inicial en la siembra de tilapia.....	95
Figura 41. Siembra de tilapia en el sistema de familia Villalba.....	95
Figura 42. Siembra de tilapia en el sistema de la familia Díaz Marín.....	95
Figura 43. Inicio de toma de datos del sistema acuapónico de la familia Villalba.....	98
Figura 44. Varetas de limón dentro del sistema acuapónico de la familia Villalba.....	99
Figura 45. Presencia de deficiencias nutricionales.....	99
Figura 46. Seguimiento de tomas de datos, lo cual indicó estabilidad en el sistema y un buen funcionamiento.....	100

Figura 47. Revisión del correcto funcionamiento de bomba y compresor de aire del sistema.....	100
Figura 48. Cultivo de apio en sistema acuapónico familia Díaz Marín.....	101
Figura 49. Biometrías realizadas al cultivo de tilapia con los participantes.....	101
Figura 50. Producción vegetal del sistema acuapónico familia Villalba.....	102
Figura 51. Cosecha de lechuga, señor Brígido	104
Figura 52. Familia Villalba degustando platillos de tilapia.....	105
Figura 53. Degustación de platillo por parte de la familia Díaz Marín.....	106
Figura 54. Acumulación de sólidos en el tanque sedimentador.....	107
Figura 55. Crecimiento de algas en el biofiltro, originado por el estancamiento del agua.....	107

I INTRODUCCIÓN

Es indiscutible afirmar que la sociedad contemporánea enfrenta una doble crisis: ambiental y social. Esta afronta los efectos radicales del cambio climático (acelerados por las acciones del ser humano) trayendo alguna consecuencia como irregularidad en las estaciones climáticas alterando los ciclos agrícolas, inundaciones y sequías, entre otras. Pero, es importante referirse que a partir del siglo XVIII la sociedad humana, con la prevalencia de la cosmovisión de la Ilustración y de la Revolución Industrial,¹ aceleró y sobreexplotó la extracción de los recursos naturales para la satisfacción de las necesidades básicas del ser humano (alimentación, protección, vestido, descanso, salud, ocio, etc.).

Ejemplo de ello son las formas de producción de alimentos actuales, debido a los métodos y formas empleadas, las cuales han traído como consecuencia graves daños al ambiente, por los métodos y formas instrumentados en su proceso. La tendencia a la alta productividad y rentabilidad generada desde la Revolución Verde replanteo la forma de la producción agrícola (donde se ve al alimento como una mercancía para generar dinero y no como un recurso para la nutrición y calidad de vida de las personas), ya que en un primer momento se planificó la producción en grandes extensiones de un mismo cultivo para aprovechar espacio, incorporando innovaciones tecnológicas como la maquinaria, los agroquímicos y el mejoramiento genético de especies y en los últimos años los adelantos de la informática y la computación, con la finalidad de tener mejores rendimientos y ganancias económicas.

Si bien es cierto que esta forma de producción ha incrementado la disponibilidad y diversidad de alimentos en grandes cantidades, intentando abastecer la alimentación de la población en general; al mismo tiempo ha traído como consecuencia la sobreexplotación de los principales recursos naturales como el agua y el suelo, que se manifiesta en la deforestación de grandes extensiones naturales, uso y abuso de sustancias químicas, pérdida de la biodiversidad; además de daños en la salud del

¹Se entiende como la producción acelerada de productos para satisfacer las necesidades de los seres humanos, yendo en contra del ritmo de la naturaleza.

consumidor y en particular de las personas en contacto con los agroquímicos empleados en los distintos ciclos fenológicos de las plantas (Camacho, 2017) y en los ciclos de vida de las especies pecuarias. Factores que aunados a los procesos de producción industrial y a los estilos de vida de la sociedad, el día de hoy la humanidad enfrenta el mayor reto planteado en su historia que es el cambio climático, el cual afecta de manera directa a la forma de producción de alimentos. Asimismo, es necesario destacar que esta mayor productividad en los sistemas agroalimentarios, no se ve reflejada en un beneficio generalizado de la población en su calidad de vida, al contrario el modelo económico actual ha generado la aceleración de una crisis social, reflejado con la presencia de amplios sectores de la población en condiciones de inseguridad alimentaria, desnutrición, vulnerabilidad, la alta exposición a la violencia, el desigual acceso a servicios como educación, empleo y hogar digno, marginación, pobreza, por mencionar algunas; provocando la desigualdad social y económica.

Es por ello que es indispensable la búsqueda de alternativas que correspondan a la aportación de un desarrollo social para todos y en particular que permitan mejorar la calidad en la producción de alimentos y fomentar la seguridad alimentaria, a partir del cuidado y mejoramiento de los recursos naturales y la biodiversidad productiva, que fomenten a largo plazo el empoderamiento y el desarrollo de capacidades de los involucrados.

Así, cada vez más se elevan voces que alertan de las consecuencias impredecibles de continuar por este camino, para las generaciones futuras y estarán en peligro su continuidad. Por lo anterior han surgido diversas propuestas alternativas al modelo convencional de producción de alimentos como es la producción orgánica, la biodinámica y, en los últimos años, se han fortalecido los modelos con base en los principios de la Agroecología y más reciente la Permacultura, propuestas que destacan el rescate de los principios de la agricultura tradicional ancestral orientados hacia el respeto y fortalecimiento de los ciclos de la naturaleza y el cuidado de los recursos naturales y el respeto de los derechos fundamentales del hombre.

Es por ello, que resulta importante concretar y destacar que alrededor del 70% de los alimentos en América Latina proviene de producción derivada de la agricultura familiar,

por lo que los pequeños productores familiares son los que proveen la mayor parte del alimento que consumimos diariamente; sin embargo, en la mayoría de los casos estos pequeños productores se encuentran en situación de vulnerabilidad y marginación, además de ser susceptibles a los cambios generados a raíz del cambio climático, por lo que este tipo de agricultura es la que debe de apoyarse y fortalecerse (FAO, 2016 ; FAO, 2015).

Por otro lado, de forma más específica en el contexto de la población mexicana que se encuentra en un estado creciente, cercana a los 130 millones de habitantes, enfrenta el reto de la alimentación de su población; La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, 2018 (ENSANUT) plantea que para 2018 había 70.5 millones de personas (18.5 millones de hogares) en condiciones de inseguridad alimentaria, lo que representa el 55.58% de la población nacional y de éstas 49.47 millones de personas se ubican en las ciudades; asimismo, lo preocupante de esta situación es que para el 2018 existían en el país al menos un millón de hogares donde alguna niña o niño no recibían ninguna comida al día o comían una sola vez al día.

Por ello, el Estado mexicano para intentar mitigar la inseguridad alimentaria, en diferentes épocas ha establecido diversos programas dirigidos a la población más vulnerable y marginada del país. Programas orientados primero a la autoproducción de alimentos y posteriormente a la venta de excedentes. Uno de éstos fue el Programa Especial de Seguridad Alimentaria (PESA) de la FAO, programa con alcance nacional y se enfocó a la producción de alimentos en el traspatio en comunidades en condiciones de marginación y pobreza. De manera paralela instituciones tanto públicas como privadas han llevado a cabo diversas acciones para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria en comunidades marginadas. En este sentido un grupo de profesores investigadores del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, durante más de 15 años ha generado diversas experiencias en diferentes comunidades del estado de Puebla con relación a la producción integral de alimentos en el traspatio. Experiencia que ha permitido generar y adaptar innovaciones tanto tecnológicas como sociales para mejorar la producción integral del traspatio, mediante el diseño de diversos sistemas productivos que integran la producción vegetal de hortalizas, plantas medicinales y ornamentales

principalmente, con la producción pecuaria de especies menores como aves y conejos; todo ello a partir de diversas técnicas agroecológicas como es la autoproducción de abonos orgánicos y diversos bio-fermentados para la nutrición vegetal, productos para el control de plagas y enfermedades, así como prácticas de manejo de los cultivos y animales. Si bien este modelo ha demostrado una alta eficiencia y eficacia en la producción de alimentos, también es cierto que se lleva a cabo en un contexto de uso intensivo de los recursos como mano de obra, la tierra y en particular el agua; recursos que en muchas ocasiones se cuenta con baja disponibilidad. Congruentes con conservar la integridad del traspacio y continuar propiciando la sustentabilidad de los recursos disponibles, también se ha incursionado en la Acuaponía a fin de producir de manera simultánea peces (tilapia del Nilo y vegetales (lechuga y otros cultivos anuales).

El presente trabajo de investigación pretende indagar en las posibilidades del proceso de diseño y establecimiento de sistemas acuapónicos en comunidades rurales, y particularmente con personas dedicadas a la agricultura familiar en transición, considerando la escasa disponibilidad de recursos productivos en este sistema.

1.1 Análisis de la Situación Problemática

La crisis alimentaria en el siglo XXI deja en una situación alarmante a la sociedad actual, ya que hoy en día los sistemas de agricultura, que procuran la máxima ganancia económica al estar dentro del modelo económico capitalista-neoliberal, por encima de cuidados tanto ambientales como sociales (Cortés Torres, 2016), han generado grandes perturbaciones al ambiente, así como una gran inequidad social, existiendo en la actualidad grandes sectores de la población con fuertes carencias alimentarias.

Es así como uno de los principales problemas que existen hoy en día, está relacionado a un inapropiado acceso a los alimentos de calidad que tiene la mayoría de la población y el derroche de recursos naturales que se emplea para su producción.

Actualmente se gasta más energía para producir alimentos los cuales, son desperdiciados al ser distribuidos inequitativamente, ya que la producción masiva no es igual a calidad ni para resolver problemas de inseguridad alimentaria. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), menciona que una

de nueve personas está padeciendo hambre en el mundo y contradictoriamente la cifra de habitantes con obesidad y sobre peso cada vez va más en aumento. Asimismo, amplios sectores de la población se ubican en un grado de inseguridad alimentaria moderada, lo cual es significativo en el crecimiento infantil, en el desarrollo cognitivo y en el bienestar de las personas (FAO, 2016).

La comunidad de San Felipe Coapexco, perteneciente al municipio de Cohuecan, área objeto de estudio de la presente investigación, de acuerdo con un diagnóstico realizado directamente en campo por el Proyecto de Seguridad Alimentaria y Agricultura Familiar del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, consignó que los habitantes presentaban como principal problema de salud, altos índices de colesterol; es por ello que fomentar alimentos altos en ácidos grasos, como el pescado, es de vital importancia como vía para el mejoramiento de la seguridad alimentaria.

Por ello es importante fomentar y estandarizar procesos productivos que generen la autoproducción de alimentos y así combatir la dependencia alimentaria. Eso permitiría la reducción de la inseguridad alimentaria y también la propuesta de innovaciones que permitan en largo plazo incrementar las ganancias económicas. Sin embargo, si no se generan estos sistemas comprendiendo la racionalidad económica de la agricultura familiar, difícilmente podrán ser adoptados.

Ya se ha dejado claro que existe un reto a enfrentar para los siguientes años en cuanto a la calidad y los métodos para la producción de alimentos, lo cual implica que se tengan que difundir alternativas como la Acuaponía. Por otro lado, el segundo punto relevante a tocar dentro del problema de estudio se enfoca en la complejidad del sistema de Acuaponía, lo cual influye en la difusión, comprensión y finalmente adopción.

La Acuaponía es un sistema agrícola productivo novedoso, que en la actualidad presenta un fuerte crecimiento. Como sistema combina la producción de peces (Acuicultura), donde sus desechos son utilizados para la nutrición de vegetales (principalmente hortalizas) en sistema hidropónico, donde el metabolismo propio de las plantas y con el apoyo de bacterias benéficas purifican el agua y así se establece un sistema de recirculación del agua al retornar al área acuícola, para iniciar el ciclo. Este sistema

simbiótico se ha desarrollado en dos vertientes: la primera en una visión empresarial con grandes inversiones de capital, infraestructura y recursos humanos, con altos índices de productividad y rentabilidad; y la otra vertiente es una alternativa que se considera viable para llevarse a cabo en hogares y/o pequeñas microempresas, tanto en zonas urbanas como rurales integrándose a las actividades productivas del traspatio.

Por otro lado, es importante destacar la virtuosidad que presenta este sistema, ya que proporciona alimento rico en el macronutriente proteína, contenido en la carne de pescado. Este macronutriente, es muy importante en el cuerpo humano, ya que de forma general se encarga del crecimiento y reparación del organismo. En bebés y niños de un año es fundamental el consumo por día de 1.5 g por kilo del peso, ya que participa en procesos de protección inmunológica y crecimiento adecuado y para adultos la recomendación es de 0.8 g/kg de peso para mujeres y hombre 0.85 g/kg de peso diarios, según datos de la FAO/OMS/UNU. Sin embargo, a pesar de ser muy importante, no todas las personas pueden acceder al consumo recomendado, provocando consecuencias a daños en la salud (Latham, 2002).

En el contexto antes descrito, la Acuaponía es considerada una actividad productiva eficiente y sustentable, que fortalece la seguridad alimentaria y el bienestar de quien la práctica, al ser una fuente completa de alimentos de alta calidad y genera oportunidades de mejorar sus condiciones socioeconómicas, en un ambiente de alto crecimiento demográfico, el deterioro de los suelos y sobre todo, la creciente escasez de agua. Esto visibiliza la importancia de su difusión y además, dentro del proceso de innovación de tecnología para la agricultura familiar, se considera un elemento clave en el aumento de la producción en sus explotaciones bajo un adecuado uso de los recursos naturales, es decir que cada vez más se empleen métodos sustentables, tales como la Acuaponía (FAO, 2015).

Es por ello que, la tecnología de la Acuaponía bajo la orientación de sistema familiar de baja intensidad ha sido promovida por diversas instituciones, gobiernos y organismos internacionales como la FAO, así como diversos agentes de la iniciativa privada; sin embargo, aún existe un fuerte desconocimiento de esta técnica en amplios sectores de

la población, sobre sus bondades y en particular de su manejo tecnológico y como se realiza el establecimiento de estos sistemas.

Como se ha mencionado anteriormente un grupo de investigadores del Campus Puebla del Colegio de Postgraduados ha establecido diversos modelos para el manejo integral del traspatio, en diversas comunidades del altiplano poblano, incorporando diversos sistemas productivos. Las y los participantes en este proyecto han manifestado su interés por la producción de peces, en particular tilapia del Nilo, debido a la existencia de pequeñas experiencias aisladas de piscicultura en las comunidades y con relativo éxito en su producción.

Por lo anterior y con base en: a) la disponibilidad de espacios pequeños para la producción de alimentos y en muchos casos sin actividad productiva, b) lo limitado en la disponibilidad de recursos en particular el agua, c) la necesidad de contar con mejores fuentes de nutrición familiar como es el pescado, y disponer de vegetales frescos y de alto valor nutrimental y d) el desconocimiento de la técnica de Acuaponía como una alternativa viable; representan un reto para quienes quieren aprender, construir, manejar y difundir los sistemas acuapónicos, es así que los retos que se han identificado a enfrentar son:

1) El sistema se compone de tres subsistemas, que son las especies acuáticas (en la mayoría de los casos se emplean peces), bacterias y las plantas. La complejidad radica en que se debe de conocer qué son, cómo se comportan, qué necesidades y condiciones son las óptimas de estos tres tipos de organismos y, a su vez, buscar que trabajen simbióticamente, ya que en la naturaleza lo hacen y esa es una de las ventajas de la Acuaponía; replicar el ciclo del nitrógeno, buscando un equilibrio y si se logra, el funcionamiento prácticamente será autónomo; sin embargo, la clave para que suceda éste se encuentra en el diseño y la ingeniería de los módulos de los sistemas de Acuaponía, por lo tanto este es el segundo reto de la complejidad de la Acuaponía.

2) El diseño y construcción de cada componente ha sido escasamente probado, por lo cual es importante que cada vez existan más opciones de modelos y guías contextualizadas a las distintas regiones en cuanto a materiales y especies a cultivar, ya

que al ser una propuesta novedosa, aún en crecimiento y desarrollo, ha sido poco instaurada en experiencias concretas a contextos regionales en la zona centro del país, y además que sea eficiente aun siendo a escala pequeña y para el autoconsumo (Merino et al., 2015).

3) Por otro lado, otras de las dificultades a enfrentar es que una vez construidos e instalados los sistemas acuapónicos al ser complejos requieren de mantenimiento y cuidados. Un elemento principal que hace funcionar estos sistemas es la energía eléctrica, para el funcionamiento de bombas de agua, generadores de aire (oxigenación) y otros aparatos eléctricos que mantienen vivos a los distintos organismos, es por ello que otro de los retos a enfrentar es la constante atención que se le debe de otorgar al sistema y a la habilidad de resolución de problemas de manera creativa.

Cabe aclarar que esta complejidad también puede ser una ventaja, ya que el requerir de habilidades como: 1) el conocimiento técnico sobre manejo y cuidado de los tres organismos que son del sistema; 2) para el diseño y construcción de los sistemas, de las cuales son necesarias el manejo de herramientas y materiales de plomería, sistemas eléctricos e ingeniería y 3) la atención, cuidado y resolución de problemas de forma creativa para el funcionamiento de la Acuaponía. Es así, que al ser tan complejo va desarrollando nuevo conocimiento y habilidades en las personas que deciden aprender e involucrarse en el mundo de esta práctica, fortaleciendo el capital humano. Por ello aquí se presenta otro reto, ya que a pesar de que permite el desarrollo de distintas habilidades y representaría un proceso de aprendizaje y mejoramiento de la persona(as) involucrada(as), no todas están dispuestas a entrar a un sistema complejo y en un contexto de familias campesinas es aún más complicado, ya que se debe de reconocer la existencia de la resistencia al cambio y carencias de conocimientos técnicos. Dicho esto, cabe resaltar que se convierte un obstáculo la difusión de este sistema.

Es por ello por lo que la difusión de estos sistemas se convierte también en un proceso complejo, contextualizado dentro del proceso de la innovación tecnológica, social y agrícola; lo cual responde a las características de las personas, ya que se requiere mucho cuidado y atención al sistema.

En algunas comunidades rurales como San Felipe Coapexco, Cohuecan se reconoce que existe interés por la Acuicultura, ya que tener de forma accesible el pescado para el autoconsumo y la venta genera altas expectativas e intereses; sin embargo, algunos factores como la inversión económica, la complejidad del sistema que ya hemos descrito y el acceso limitado a la información que se encuentra altamente empaquetada, ya que se presenta en otros idiomas, principalmente inglés, y con materiales que no son de la región, lo cual puede desalentar y generar que los campesinos se rehúsen a querer conocer, aprender y finalmente adoptar dicha tecnología, sumándole a esto las múltiples actividades que caracterizan el tipo de agricultura familiar de subsistencia, dificultan aún más el cuidado y atención que son necesarias para aprender del sistema de Acuaponía y su adecuado mantenimiento.

Es así, qué, dentro de un proceso de innovación tecnológica y social para la agricultura familiar se presentan retos y oportunidades; por ejemplo, para lograr el establecimiento y difusión de cualquier tecnología productiva sostenible, como la Acuaponía, apostando por ella por los beneficios que otorga por fomentar la Economía Circular, gestión del agua y seguridad alimentaria; se pueden presentar retos en aspectos tecnológicos, por los materiales e instrumentos para su adecuado funcionamiento y en aspectos socioculturales, por ser novedosa y compleja.

Es por ello qué al trabajar con el diseño de la tecnología de Acuaponía para ser contextualizada en dos casos de familias dedicadas a la agricultura familiar en transición, ubicados en la región de los Valles de Puebla, se derivan las siguientes preguntas de investigación:

1.2 Pregunta General

¿Cuáles son las características de los componentes del diseño de un sistema de Acuaponía apropiado al contexto de las familias de agricultura familiar de transición, las cuales sean referencia para generar un modelo que fomente el auto abasto y la rentabilidad económica?

1.3 Preguntas Específicas

- ✚ ¿Cuáles son las características técnicas básicas, sociales y económicas, las limitantes y fortalezas para diseñar y establecer un sistema experimental de Acuaponía?
- ✚ ¿Qué factores relacionados a las estrategias de las familias, influyen para que una tecnología como la Acuaponía, se pueda integrar a las actividades de los agricultores familiares de transición?
- ✚ ¿Cuáles serían las condiciones y características del sitio y las personas para proponer un modelo de un sistema de Acuaponía integral al modelo de mandala traspatio?

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de Acuaponía que responda a las condiciones de las familias que practican la agricultura familiar en San Felipe Coapexco, para generar una propuesta de un modelo de Acuaponía que permita fortalecer la integralidad traspatio.

2.2 Objetivos Específicos

- ✚ Analizar las características técnicas básicas, económicas y sociales de un sistema acuapónico experimental para su posterior difusión.
- ✚ Identificar las características socioculturales de las familias del grupo “Nuevo Amanecer” de San Felipe Coapexco para el establecimiento del sistema de Acuaponía.
- ✚ Reconocer las características técnicas, las limitantes y las fortalezas en el establecimiento y operación de los sistemas acuapónicos con las familias participantes en la comunidad de San Felipe Coapexco, a fin de hacerlo extensivo a nivel local y regional.
- ✚ Contar con una primera versión del sistema de Acuaponía que permita generar una aproximación de los aspectos técnicos del sistema y recomendaciones para el manejo productivo tanto de tilapia como de vegetales, de un modelo de Sistema de Acuaponía, integrado al modelo de “mandala traspatio”.

III REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Desarrollo Rural ¿Cuál Desarrollo?

Cuando hablamos en términos de un desarrollo rural desde el desarrollo local para mejorar la calidad de vida de las personas de comunidades en condiciones de marginación, pobreza e inseguridad alimentaria, es necesario proponer opciones que, sin buscar imponer ideas, sino más bien buscar potencializar sus procesos y estrategias de vida, y así satisfacer las necesidades humanas.

Consecuentes con lo antes expuesto, cuando nos referimos a una nueva propuesta de desarrollo rural, basado en el desarrollo local, tenemos que replantearnos conceptos y teorías. Es por ello que, para hacerle frente a la visión dominante y globalizadora, la cual homogeniza todo, no acepta las diferencias y está en crisis, porque aturde y limita la vida misma (Byung-Chul Han, 2018). Por lo que es importante para ir en contra de la globalización que somete, recuperar la cultura, en este caso la cultura de las comunidades rurales. Ya que este sector social ha sido víctima de la imposición de “nuevas ideas” supuestamente hacia una mejora, pero ¿a quién mejora?, y también la extracción de recursos naturales, limitando un adecuado desarrollo (Carpio, 2000).

Así, cuando en el presente trabajo se hace referencia al desarrollo rural local se refiere a mejorar las condiciones retomando la cultura y necesidades de las personas, recuperando la sabiduría colectiva e inteligencia social y, con base en eso, proponer y dialogar ideas y alternativas de transformación.

3.2 Apropiación Social del Conocimiento Científico y Tecnológico y la Innovación Social

3.2.1 Apropiación social del conocimiento científico y tecnológico

El desarrollo de la tecnología dentro del modelo industrial que prepondera la máxima ganancia económica, característico del modelo económico capitalista, recientemente se ha venido cuestionando en función al valor y la aplicación en la resolución de problemas para el bienestar y calidad de vida de la sociedad. Puesto que la inequidad social aumenta mundialmente cada vez más, y en el caso de países latinoamericanos como

México es más notorio, es urgente la generación sociedades del conocimiento más justas, donde se genere la apropiación social de la ciencia, tecnología e innovación. Algunos autores, como el filósofo León Olivé, proponen que, para alcanzar dicho objetivo hacia la construcción de un modelo de sociedades del conocimiento con justicia social, democráticas y plurales se deben de generar mecanismos puntuales para lograr: 1) comunicar la ciencia y la tecnología; 2) debe de existir una adecuada educación científica y tecnológica en todos los niveles y; 3) que se genere la participación continua en las redes socioculturales de innovación.

Es así como para este filósofo mexicano puntualiza que para este tipo de sociedades los individuos deben de:

“a) Apropiarse del conocimiento disponible y generado en cualquier parte, b) aprovechar de la mejor manera el conocimiento que esa misma sociedad ha producido históricamente, incluyendo conocimiento científico, tecnológico y conocimientos tradicionales, c) generar por ella misma el conocimiento que le haga falta para comprender mejor sus problemas y proponer soluciones para realizar acciones para resolverlos efectivamente” (Olivé, 2009; citado por Echeverría, n.d.).

En el sentido que expresa Olivé, el concepto de la apropiación social del conocimiento científico y tecnológico (ASCyT) toma una alta relevancia, ya que este se entiende como un proceso que el individuo o grupo social tomará por voluntad propia lo que más le funcione del conocimiento para la resolución de algunos problemas o situaciones prácticas de la vida diaria y así tener una mejor calidad de vida (Dávila-Rodríguez, 2020). Concepto altamente relevante en contextos con marginación, sociedades con problemas de salud como la desnutrición y sobre nutrición o por las consecuencias de la actual crisis ambiental.

Por lo anteriormente dicho toma una alta relevancia el conocimiento que se genere en los centros educativos y de investigación, ya que son las instituciones de la sociedad dedicados a crear el conocimiento científico y tecnológico. Ya que, si bien es voluntario y significativo el proceso de la apropiación del conocimiento, deben de existir eventos

que lo promuevan y vuelvan mucho más accesible y cercano, como lo son algunos programas de difusión o vinculación de estudiantes en los problemas sociales.

Dicho esto, para el presente trabajo cobra importancia el concepto en cuestión, ya que dentro de este marco se ha llevado a cabo el proceso de diseñar, construir y adaptar la tecnología de la Acuaponía al contexto de la zona Centro de México, como lo es el estado de Puebla, para fines de autosuficiencia alimentaria y para la dominación y comprensión a un nivel de baja escala del sistema complejo que es la Acuaponía, lo cual ha sido uno de los retos para su oportuna difusión. Es así que disgregar y colocar de forma accesible la información sobre dicho sistema para productores campesinos poblanos es una de las aportaciones del presente trabajo y dentro de la propuesta de generar modelos de producción de alimentos sanos e inocuos para todos.

Ahora bien, por otro lado, también se toma como referencia el concepto de innovación social, porque se considera que se encuentra dentro del proceso para generarla y es uno de los pioneros en la región. A continuación, se profundizará en dicho concepto.

El concepto de innovación ha evolucionado durante los últimos 15 años, debido al cuestionamiento y la necesidad de algunas instituciones y organizaciones por lograr un impacto social o resolver algún tipo de problema social. Por ello, hoy existen dos posturas sobre dicho concepto: la primera de ellas se concibe dentro de un marco de innovación empresarial y la otra mira hacia la innovación social, es decir se centra más en las habilidades y desarrollo de capital social.

Este primer concepto de innovación se originó en el marco del desarrollo económico, en la escuela schumpeteriana, como un proceso dentro de la empresa para tener una mayor productividad y así generar el aumento en las ganancias económicas. Es así como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) generó el manual de Oslo, que desde su primera versión en 1992 profundizó el concepto de innovación, enfocado en el ámbito del paradigma lineal para la contribución de mejorar la producción, reduciendo costos de la industria, el incremento de la competitividad y la búsqueda de otros mercados, todo con el enfoque económico.

La innovación dentro del manual de Oslo se define como: “Una implementación de un producto nuevo o significativamente mejorado (bien o servicio), o proceso, un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo en las prácticas comerciales, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores” (OECD, 2005: p. 56)

Bajo esta perspectiva el concepto se influye por una serie de características, como la *incertidumbre*, ya que no se sabe que sucederá al llevar a cabo las actividades de innovación de dicha innovación; también la *inversión* es un elemento que determina por ejemplo los materiales, salarios, servicios etc. que están o estarán implícitos durante el proceso. El *desbordamiento tecnológico* y el *conocimiento* también sujetan y permiten que se desarrollen la creatividad o aquellas actividades que se realizarán para que finalmente se mejoren los *resultados de la empresa*.

De acuerdo con la clasificación propuesta por el manual de Oslo en su última versión (4ta) existen distintos tipos de innovación, según: 1) el propósito o el tipo de objeto y 2) de acuerdo con la novedad o al impacto generado.

Los tipos de innovación por objeto se divide a su vez en: *innovación de productos* y en *proceso de innovación empresarial*. La *innovación de productos* considera otras subcategorías, las cuales son innovación de:

Productos: En este tipo de innovación se incluye los bienes y servicios, en esta versión se incluye el diseño y características de lo dichos bienes o servicios, también el conocimiento generado a partir de estos.

Proceso: Aborda la producción, distribución y logística; además la información y los sistemas de comunicación.

Organización: Implica aspectos administrativos y de seguimiento.

Marketing: Se refiere a la innovación en ventas, servicios de atención a clientes.

Desarrollo del proceso empresarial y los productos: Esta nueva categoría ha sido incorporada en esta nueva versión y establece la relevancia en el proceso de innovación.

El segundo tipo de innovación, referida a la *novedad y a los impactos*, se refiere a la innovación que es significativamente diferente de acuerdo con las capacidades y contexto de cada empresa, y la innovación tiene relevancia por ser una novedad o por los impactos económicos que genere. Los tipos de novedad que puede generar dichas innovaciones, son disruptivos o radicales; es complicado medir los impactos de este tipo de innovaciones, por lo que se ve limitado a la observación en un periodo de tiempo y algunos elementos a tomar en cuenta para “medirla” es identificar si ese tipo de innovación es nueva en la empresa, nueva en el mercado de la empresa o para el mundo, también si implica que para las expectativas de la empresa significa un potencial a transformar para el mercado en donde opera o para mejorar su competitividad (OECD, 2018).

3.3 La Innovación Social

Por otro lado, la segunda posición de concepto de innovación, el relativo a innovación social, ha venido evolucionando, ya que en la última y cuarta versión del manual de Oslo ya ha sido incluido, pues ha cobrado relevancia debido a los problemas sociales que existen en la actualidad; por ende, existe un compromiso ético y moral por aportar beneficios a la sociedad, ya que el proceso que se generó posterior a la Segunda Guerra Mundial y el modelo de industrialización que propició la deshumanización.

El presente trabajo se encuentra dentro del marco de la definición hacia el concepto de innovación social, ya que su propuesta es *ad hoc* a los principios que se buscan dentro del desarrollo social, pues este tipo de innovación no prepondera los aspectos económicos, sino más bien antecede valores como la calidad de vida, el bienestar de las personas y el capital social; es así, que se puede afirmar que existen dos tipos de corrientes de conceptualización de la innovación, las cuales buscan, y siguen fines totalmente diferentes (Echeverría, 2008).

Sin embargo, es importante mencionar que el concepto de innovación social es joven y, por ende, aún existe ambigüedad y depende de los autores que se estén tomando como referencia para entender que quiere decir y que abarca la innovación social, ya que no existe una única definición, ni un campo específico en donde se aplique.

Al revisar las definiciones que proponen ciertos autores se puede apreciar, que si bien, existen cosas en común difieren entre sí; por ejemplo, para autores como Crozier y Friedberg la innovación es un proceso de creación colectiva, donde dichos miembros aprenden, inventan y diseñan nuevas reglas para el juego social de la colaboración y de conflicto, donde adquieren las necesarias habilidades cognitivas, racionales y de organización.

Por otro lado, organizaciones como la Social Innovation Center (INSEAD) de Francia, definen a la innovación como la introducción de nuevos modelos de negocios y mecanismos basados en el mercado que proporciona prosperidad económica, ambiental y social sostenible; lo cual vemos que a pesar de estar en un contexto de innovación social se sigue tomando como referencia el mercado y las ganancias económicas.

En el presente trabajo se tomará como referencia la orientación de la innovación social relacionada a los estudios sociales y, de forma más precisa, la orientación socio-ecológica (Westley & Antadze, 2018). Para esta orientación las relaciones que se generan con los entornos socioculturales (abarca aspectos sociales, geográficos, históricos, económicos, políticos, es decir todo aquello que genere la cultura) son los factores relevantes para que se dé el éxito o fracaso de dichas innovaciones, y se enfatiza que existe un flujo de retroalimentación entre la sociedad, instituciones y la inclusión de grupos vulnerables para qué se generen dichas innovaciones. Las innovaciones sociales no se generan exclusivamente en instituciones de investigación para su aplicación en la industria para su desarrollo, sino que pueden ser y son válidas desde cualquier campo, ya que son resultado y producto de la sociedad (Murray, Caulier y Mungan, 2010; citado por Hernández et al., 2016).

También se toma como punto de referencia las aportaciones dentro del marco de la innovación de la agricultura familiar. Ya que algunas instituciones como la FAO apuestan

por resaltar y trabajar la innovación dentro de estas explotaciones familiares, ya que el incremento de la producción de alimentos permitiría mejorar algunas condiciones de vida, como reducción de la pobreza, mejorar estados de malnutrición o subnutrición y, producción sostenible de los alimentos, entre otros (FAO,2015).

Según la FAO en la publicación del Estado de la Alimentación del año 2015, existen dos vías incluyentes, simultaneas y reforzantes entre sí, las cuales permiten alcanzar el proceso y las prácticas de la innovación para la agricultura familiar, las cuales son:

- 1) La creación, adaptación y aplicación de nuevas tecnologías y prácticas para la producción y gestión de las explotaciones agrícolas.** Fortalece los recursos y expande las posibilidades de producción.
- 2) Incremento y aceleración de los procesos de adopción y aplicación de tecnologías o prácticas existentes.** Potencializa el crecimiento y posibilidades de las prácticas y producción ya existente dentro de las explotaciones familiares.

Para ejecutar ambas vías es necesario la promoción por medio de la capacitación y medios de educación para los agricultores familiares, donde las instituciones u organizaciones públicas y privadas participen de distintas formas, una de ellas, podría ser generando programas de difusión de tecnologías; para que de esta forma se propicie un ambiente que fomente la innovación. Es importante destacar que el proceso de innovación tecnológica tiene el potencial para impulsar el desarrollo y bienestar de las personas, ya que como se ha mencionado anteriormente incrementar la producción y que ésta sea sostenible, se preserven los recursos naturales, se fomenten los procesos de economía solidaria y además aumenten los ingresos, son algunas de las razones por las que debe de ser altamente considerado por los responsables del diseño y formulación de las políticas públicas. Por lo que, en el presente trabajo se busca generar experiencias que ayuden tanto a instituciones académicas, como organizaciones o a la sociedad en generar conocimiento útil para aplicar en el proceso de la innovación tecnológica.

Para la FAO, la definición que permite entender como es el proceso de innovación en el contexto de la agricultura familiar y por lo tanto comprender sus fines que son totalmente

diferentes a los de la empresa capitalista. Por ello los procesos de capacitación, difusión, políticas públicas y alcance son diferentes.

La “Innovación agrícola, es el proceso mediante el cual las personas o las organizaciones introducen en la sociedad o en la economía el uso de productos, proceso y formas de organización existentes o nuevos con el fin de aumentar la eficacia, la competitividad, la resiliencia, ante las crisis, o la sostenibilidad ambiental, contribuyendo así a lograr la seguridad alimentaria y nutricional, el desarrollo económico y la gestión sostenibles de los recursos naturales” (FAO, 2015, p. 5).

Y se da cuando los agricultores aumentan su producción con los recursos que ya cuentan o bajan los costos, cuando se diversifica tanto que también aumenta la comercialización y rentabiliza más sus espacios productivos, también cuando dichos métodos o técnicas empleadas mejoran la sostenibilidad de sus agroecosistemas, cuidando y preservando recursos naturales (bajo la premisa que cada vez más se ven limitados y escasos, llevando a una crisis climática).

Es importante reconocer que la visión innovadora en productores dedicados a la agricultura familiar no predomina, y en el caso de las mujeres aún menos, ya que el acceso a la información, los recursos, servicios (como el marco de comercialización) e insumos necesarios están limitados o se carece de ellos, es decir no están accesibles para ellas, y por otro lado, el modelo de extensionismo en el marco de la Revolución Verde, los cuales han atrasado cualquier proceso de innovación que les permita tener mejores condiciones de vida, o en algunas ocasiones las personas no se encuentran receptivas a este proceso, por lo que la promoción de tecnologías por algunas instituciones también se ha visto retrasada.

3.4 Agricultura Familiar

Como ya se ha mencionado la importancia que la producción de alimentos entraña dentro de la sociedad y en la situación contradictoria en la que se encuentra la agricultura hoy en día por la crisis ambiental, ya que depende de las condiciones climatológicas, las cuales se han venido modificando por el cambio climático, lo cual la vuelve susceptible; y simultáneamente es una de las causantes de la contaminación de agua, suelo y aire,

debido a los métodos industriales empelados en cultivos comerciales donde se hace uso masivo de agroquímicos para poder producir las cosechas.

En América Latina existe un tipo de producción de alimentos que no es de tipo industrial, que genera alrededor del 80% de los alimentos que se consumen, y particularmente en México constituye cerca del 70% de la superficie total cultivada; este tipo de agricultura es la familiar. Esta agricultura tiene ciertas características que se definirán posteriormente y hacen valorarla por su resistencia y funcionalidad dentro de la sociedad (FAO, 2015) (FAO, 2016).

De acuerdo con lo establecido en la Asamblea General de las Naciones Unidas, donde se declaró el 2014 como el año Internacional de la Agricultura Familiar, se definió de la siguiente manera:

“La agricultura familiar (incluyendo todas las actividades agrícolas basadas en la familia) es una forma de organizar la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuicultura y pastoreo, que es administrada y operada por una familia y, sobre todo, que depende preponderantemente del trabajo familiar, tanto de mujeres como hombres. La familia y la granja están vinculados, co-evolucionan y combinan funciones económicas, ambientales, sociales y culturales.” (Salcedo & Guzman, 2014, p. 26)

Otro concepto para entender a la agricultura familiar es el que se concibe desde el Instituto Interamericano para la Cooperación para la Agricultura (IICA), el cual se define como toda actividad agropecuaria que se desarrolla en unidades de producción pequeñas, donde la producción es mayormente para el autoconsumo ya que existe muy poca relación con mercados, y la mano de obra familiar abunda en la producción (IICA, 2013, citado en Álvarez, 2016). El IICA también reconoce que la importancia está en la generación de alimentos en la sociedad, por la optimización del trabajo en los medios rurales, la gestión ambiental, biológica y cultural, ya que para la producción y consumo de los alimentos existe un acervo cultural de cada pueblo; también radica su importancia en la dinamización de las economías locales (IICA, 2016).

Se ha tomado como punto de partida este concepto, pero, cabe aclarar que existen distintos enfoques de acuerdo con los contextos y condiciones; sin embargo, la mayoría de las concepciones sobre el particular consideran elementos muy similares, como es la que se ha generado en el Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), la cual se define como:

La agricultura familiar en México es la que realizan los campesinos, independientemente del régimen de propiedad de la tierra, con el trabajo preponderante del núcleo familiar, usando y transformando los recursos naturales para la obtención de productos agrícolas, ganaderos, pesqueros, acuícolas y silvícolas, que se destinan al autoconsumo o a la venta (CEDRSSA, 2015, p. 22)

En muy pocas palabras se podría decir que lo que caracteriza a este tipo de agricultura es que la mano de obra es básicamente del productor y su familia; sin embargo, existen otras particularidades como el potencial productivo y económico que han permitido que se generen tres niveles de integración en la agricultura familiar:

- 1) Agricultura familiar de subsistencia, se concentra para el autoconsumo y con escaso potencial agropecuario, lo cual lleva a la familia a conseguir trabajos asalariados ya que no se satisfacen las necesidades para la reproducción familiar.
- 2) Agricultura familiar en transición, se refiere a aquellas practicas enfocadas a dos fines: autoconsumo y venta, lo cual si satisface las necesidades de la reproducción familiar sin embargo no existen excedentes como para generar otro tipo de inversiones a las unidades productivas, vivienda etc. También se caracteriza por recibir apoyos públicos.
- 3) Agricultura familiar consolidada, es aquella que se sustenta de forma eficiente y suficiente de la producción, con mayor acceso a los mercados, tecnología y distintos tipos de capital, si pueden hacer inversiones a las unidades familiares, vivienda, etc. (CEDRSSA, 2015).

3.5 Racionalidad Económica y Productiva de la Agricultura Familiar

Al querer realizar trabajos en el área de la difusión de tecnologías y las propuestas de innovación tecnológica, desde el carácter psicosocial hacia la búsqueda del desarrollo rural integral, se resalta la importancia de comprender las estrategias y la racionalidad económica y productiva de la agricultura familiar, ya que esto influye para comprender, como se entiende la realidad para este grupo social y, por ende, poder contextualizar las propuestas a las necesidades reales. En el presente trabajo abordaremos los aspectos fundamentales para entender a los agricultores familiares.

Se han definido dos aspectos fundamentales para comprender los estilos de vida de las personas dedicadas a la agricultura familiar, los cuales son el económico y el productivo.

A diferencia de lo que predomina de la visión del modelo económico actual en donde la utilidad económica es el objetivo de cualquier actividad productiva, en la racionalización económica de la agricultura familiar de transición esto no es así, aquí lo que impera es la satisfacción de las necesidades de la familia. La racionalidad económica se manifiesta en el auto abasto de alimentos, el intercambio o trueque de productos, las prácticas que cambian los niveles de estatus social dentro de la comunidad, entre otros, los cuales preceden a la ganancia económica. Es por ello que la toma de decisiones y las prácticas que se realizan tienen otra connotación diferente a la exclusiva utilidad económica, a la vez que propicia una racionalidad productiva muy singular; es así que algunas acciones como el reciclaje de los recursos (por ejemplo uso del estiércol de animales de trabajo como caballos, o para autoconsumo como aves, se utiliza para abonar los cultivos anuales, frutales, hortalizas), la diversidad de los especies en los traspatios (funciona como un amortiguador tanto para el autoconsumo como para la venta en mercados locales), el uso de la fuerza de trabajo de los integrantes de la familia (por ejemplo, en este caso no se necesita dinero para el pago a peones, precede el capital humano de los integrantes) y el tamaño del predio productivo. El éxito y diferencia de este tipo de racionalización económica y productiva, es que en la agricultura familiar las estrategias se orientan más hacia el valor de uso y no al valor de cambio como lo hace la empresa capitalista.

Por otro lado, las ganancias económicas que se generan con la venta de productos en mercados locales permiten resolver ciertas necesidades, como la compra de agroquímicos, ropa u otros insumos extra finca.

Asimismo, como se mencionó, lo productivo es fundamental, y lo cual depende totalmente de los recursos naturales y las condiciones climatológicas, es por ello que las estrategias tomadas en cuenta en torno a lo qué se produce y cómo se produce, están condicionadas a los recursos y condiciones de la naturaleza, y esto es crucial para el éxito y mantenimiento de este estilo de vida. Algunos autores, mencionan que este tipo de racionalización surgió de una coevolución ecológica y social que se ha mantenido en el tiempo. Para llevar a cabo las actividades productivas y que estas sean exitosas para los fines de las familias, reconociendo lo variable que pueden ser las condiciones climatológicas (como lo variante entre año a año que es la temporada de sequía y lluvia) una estrategia importante por destacar ha sido la diversificación de los cultivos y actividades productivas (combinación entre actividades agrícolas, pecuarias, artesanías etc.). Las actividades en cuestión se realizan tanto en las parcelas como en el traspatio, este último ha tenido un papel fundamental para las actividades productivas de la agricultura familiar, ya que estos pequeños espacios y su alta diversificación productiva entre frutales, hortalizas, pecuaria, de plantas medicinales y aromáticas, crianza animal y otros; al encontrarse de manera cercana a la casa habitación permite una mayor atención a los cultivos y su diversa producción favorece para que al asistir a mercados locales se pueda vender de todo un poco, o en dado caso hacer trueque. Es por ello que el mantenimiento y el flujo de energía con el reciclaje de recursos como pasa con los estiércoles de los animales que son transformados en abonos orgánicos para las plantas, permitiendo la integralidad del sistema, ahorro en compra de insumos, mejores ganancias económicas, además cuidado de los recursos naturales y, sobre todo, no generar dependencia de organismos o empresas son fundamentales en esta agricultura (Álvarez, 2016).

Las estrategias antes aludidas, que a lo largo de los años se han mantenido y heredado de generación en generación han producido una serie de herramientas cognitivas que han permitido el desarrollo de habilidades y generación de conocimiento práctico, y

debido a que las acciones se llevan a cabo alrededor de los ecosistemas naturales y dentro de sus agroecosistemas, se genera una serie de acciones que permiten desarrollar las actividades productivas, casi con costo cero. Lo cual es posible porque se reutilizan insumos materiales, ya se aprecian por su funcionalidad y utilidad, y no por la moda o por su antigüedad (una diferencia de la cosmovisión que genera el modelo capitalista y el consumismo rapaz), esto ha permitido que las prácticas sean exitosas tanto para sus dos fines, su auto abasto y para satisfacer otros requerimientos extra finca. (Muñoz et al., 2019; Salcedo & Guzman, 2014)

Por ello, que muchos autores y diversas instituciones que se dedican a promover bienestar a este grupo social se han concentrado en hacer esfuerzos por introducir otras actividades productivas que se integren a los traspatios, lo cual mejore significativamente el desarrollo de habilidad, capital social y el incremento de los ingresos.

3.6 Modelo Teórico “Mandala Traspatio” para la Incorporación de Innovaciones Tecnológicas como los Sistemas Acuapónicos.

Los sistemas acuapónicos son atractivos ya que tienen posibilidad de escalonamiento en el tiempo y que sean altamente rentables, y de contar con beneficios al proporcionar de forma accesible alimentos saludables como el pescado y hortalizas. Sin embargo, al ser sistemas complejos sus elementos constitutivos son difíciles de integrar en el conjunto de acciones realizadas en los traspatios de la agricultura familiar, por lo que se vuelve necesario que existan modelos y experiencias que permitan la demostración de dichos hechos llevados a la práctica, así como el apoyo de otras instituciones, para desarrollarlas dentro de dichos contextos.

Esto se menciona ya que en este trabajo se parte desde el modelo teórico descriptivo propuesto por Aguirre et al (2016), el cual permite analizar y comprender la relación del traspatio con la unidad de producción familiar, denominado como “mandala traspatio”. Dicho modelo considera al traspatio como un agroecosistema, en el cual cada subsistema que lo constituye, en este caso el agrícola y el pecuario, son tomados en cuenta desde una perspectiva agronómica, es decir desde un enfoque económico-productivo; en donde para cada uno de esos subsistemas se proponen alternativas de

intervención con la visión del mejoramiento de la producción de alimentos de manera integral. Para la construcción de este modelo, los autores han tomado como referencia la visión del agroecosistema traspatio como un sistema, donde cada uno de los subsistemas se interrelacionan entre sí y, a su vez, con el suprasistema o entorno, lo cual influye y determina el grado de complejidad del sistema traspatio (Luhmann, 2000; citado por Aguirre, 2016).

La relevancia del modelo teórico de la “mandala traspatio”, radica en que nos permite entender el funcionamiento del traspatio y la Unidad de Producción Familiar; es decir podemos analizar y de esta forma acompañar con propuestas de transformación a las familias campesinas que practican la agricultura familiar de transición.

El modelo “mandala traspatio”, toma en cuenta distintos contextos como *el agroecológico* amplio (ambiente, agua, suelo, biodiversidad), lo cual es importante para abordar algunos aspectos como lo es el clima; ya que determinará tanto las limitaciones o fortalezas a las que se acotan las actividades realizadas por las familias. Por otro lado, gesta *el contexto socioeconómico* en el cual se abordan las condiciones económicas, políticas y sociales del país, estado y del municipio, ya que esto enmarca las políticas de desarrollo. Y, finalmente, gesta *el contexto específico*, se encuentran todos aquellos elementos construidos bajo las necesidades y la racionalización de la familia con tal de apoyar sus actividades productivas, por ejemplo, las ecotecnologías, la adopción de algún sistema de producción de abonos orgánicos, actividades o relaciones con el exterior para fortalecimiento de la agricultura familiar; es decir que se incluye toda esa historia familiar, la transmisión de saberes, valores que han influido en las acciones, actividades productivas, prácticas y tecnologías que son llevadas a cabo para la transición y reproducción social de la familia. Es por ello por lo que en este contexto dependerá de cada UPF, de los subsistemas que existan, ya que la infraestructura, actividades extra finca u otro tipo de actividades serán únicas de acuerdo con el contexto.

Como podemos apreciar para este modelo de “mandala traspatio”, el contexto específico es muy relevante y determinante en las propuestas de acompañamiento y búsqueda de alternativas para su mejoramiento, y por ello, para lograr realizar una intervención adecuada y atender las demandas, el sistema traspatio se divide categóricamente en los

subsistemas: familia, agrícola, pecuario, y artesanías, sin olvidar la base teórica en la que está sustentada que es la integralidad de los sistemas y su complejidad.

Es por ello que dentro de este modelo integral se justifica y se vuelve viable la propuesta de la incorporación de la tecnología de Acuaponía, pero ¿qué características tiene la Acuaponía que se adapta muy bien a este modelo “mandala traspatio”? La Acuaponía es una tecnología, basada en sistemas productivos mesoamericanos y países asiáticos los cuales se caracterizaron por mantener interacciones ecológicas simbióticas entre los peces, plantas y bacterias, al no existir insumos en donde se replican naturalmente los ciclos biogeoquímicos, pero con el beneficio de obtener producción de alimentos. Es por ello que la Acuaponía al ser un sistema cerrado, donde la característica principal es la *recirculación del agua y el reciclaje de los recursos* para que esta se filtre por bacterias y plantas de las excretas de los peces; esto lo convierte en un sistema productivo sostenible, ya que se reduce la cantidad de agua que normalmente en otros sistemas tradicionales acuícolas o producción de plantas en suelo se utilizan, por ello la Acuaponía hace un adecuado uso del agua, indispensable ante la actual crisis hídrica que vive la sociedad contemporánea. Por otro lado, este sistema ejecuta bien el término de la Economía Circular, importante hoy en día ante el modelo económico lineal actual basado en el uso de combustibles fósiles y no se genera ningún tipo de reciclaje o reutilización de los recursos, ya que el pensamiento de desecho y consumismo rápido predomina. Los atributos antes descritos, ante la crisis del petróleo y la crisis climática, convierte en necesarias las propuestas donde se aprovechen los recursos naturales, para que se reduzcan o recuperen los residuos que generan y tengan una oportunidad de uso en la economía; esto es la base de la Acuaponía, ya que a partir de los desechos de los peces, se transforma en nutrientes para plantas, las cuales se venden y generan ingresos económicos rentables a los usuarios (De la Cuesta, 2020). Es por ello que, dentro del traspatio, para los agricultores familiares de subsistencia y de transición este sistema significaría, una oportunidad de generar otros ingresos y además mejorar su alimentación.

Esta tecnología es muy versátil y funcional siempre y cuando se mantengan y atiendan sus principios consustanciales, los cuales son el cuidado de la calidad del agua para los

peces, su flujo permanente de agua, cuidado de las plantas y limpieza del sistema, por lo que se requiere de capacitación previa, difusión y acompañamiento técnico. Por ello se considera un área de oportunidad el hecho que se difundan, diseñen y establezcan los sistemas acuapónicos para productores de agricultura familiar de subsistencia y transición; ya que esta práctica podría generar en primer lugar alimentos sanos para las familias; en segundo lugar, una fuente de ingresos, la cual si se administra adecuadamente puede dar alta rentabilidad y; en tercer lugar, el reciclaje de los recursos es una práctica que ya realizan los productores por lo que se considera que se puede adaptar a sus estilos de vida, siempre y cuando los diseños de los sistemas acuapónicos se contextualicen a las realidades y expectativas de los usuarios.

A continuación, se presenta la propuesta del modelo teórico-descriptivo del traspatio que integra ahora al sistema productivo de Acuaponía:

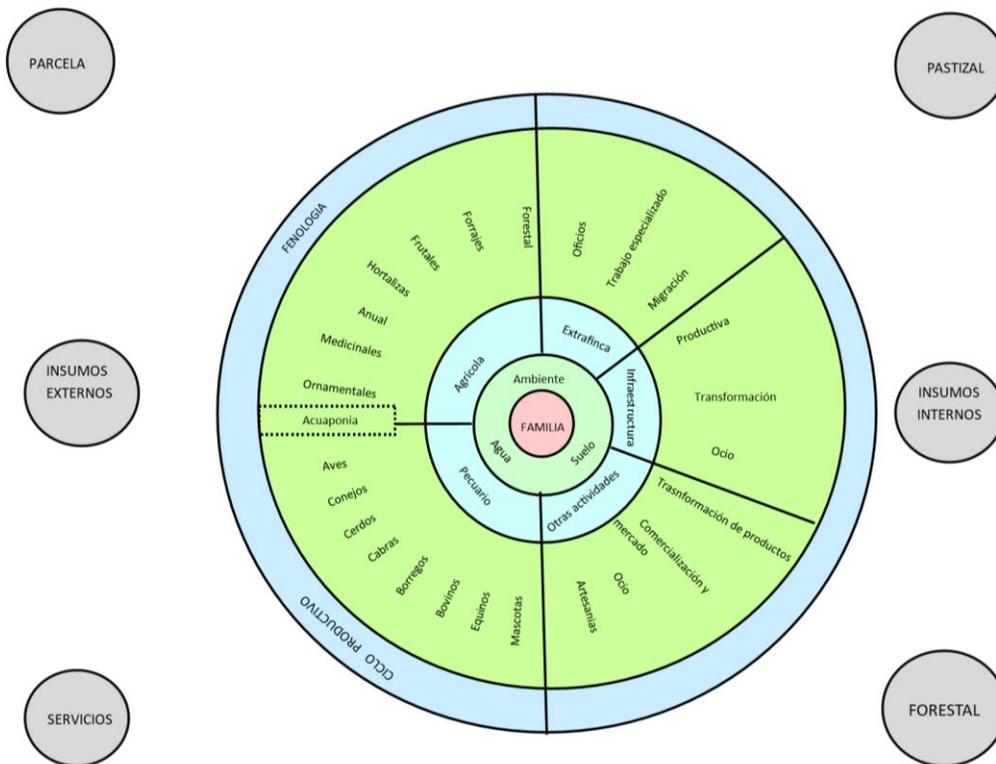


Figura 1 Modelo teórico descriptivo modificado del traspatio basado en la unidad básica de producción familiar, integrando a la tecnología de Acuaponía.

3.7 La Seguridad Alimentaria

El concepto de seguridad alimentaria es clave para el presente trabajo, ya que es fundamental la búsqueda de alternativas de producción de alimentos para familias dedicadas a la agricultura familiar, ya que son las responsables de esta primordial actividad en distintos niveles como bien se ha revisado anteriormente; sin embargo, ya sea en subsistencia, transición o consolidada, la producción de alimentos para el auto abasto debe de ser de calidad. El concepto de la FAO establece que hablamos de seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana: y por ende los cuatro aspectos que determinan la seguridad alimentaria son: la disponibilidad, el acceso, la utilización y la estabilidad (La Cumbre Mundial sobre la Alimentación, 1996; citado por FAO, 2011).

El producir alimentos en los traspatios integrales, que promueve el Campus Puebla, facilita el acceso físico a éstos, con una mayor calidad (frescos y libres de contaminantes) y en mayor cantidad (dado el ahorro que se origina al adquirirlos en la misma población) de una buena cantidad de personas. Ni se diga de las familias productoras y que mantienen permanentemente en producción el traspatio, ya sea con cultivos anuales, frutales, hortalizas y ganadería de traspatio para autoconsumo y destinando una parte para la venta en la localidad; además, la producción y venta de artesanías elaboradas en el traspatio (en el caso de la comunidad objeto de estudio, la alfarería). Empero, no olvidemos que los agricultores familiares de subsistencia y de transición también poseen o usufructúan predios fuera del traspatio, y que constituyen la parte más importante de la unidad de producción, donde se obtienen cosechas de maíz, frijol, calabaza, amaranto, sorgo, entre otros (en el caso particular de San Felipe Coapexco), todo lo cual favorece la captación de ingresos para adquirir alimentos y productos que no se producen ni en el traspatio ni en los demás predios que constituyen la unidad de producción familiar.

La producción de alimentos en el traspatio y en los predios de la unidad de producción familiar facilita la disponibilidad y acceso a los alimentos. En la producción de alimentos en el traspatio, además de hacerlo de manera sustentable se ha mantenido a través del

tiempo, que con ello y el estilo orgánico de las cosechas y otros productos así obtenidos y puestos en venta localmente se contribuye a la estabilidad y a la cultura de una buena nutrición, para así avanzar en los aspectos más importantes que conforman el concepto de seguridad alimentaria. Por supuesto, esto se ha logrado a nivel del grupo “Nuevo Amanecer” de San Felipe Coapexco, esperamos que con el tiempo se logre contagiar a demás miembros de esta comunidad. En dicho grupo se está introduciendo la producción en sistemas de Acuaponía en sus traspatios, la cual no solamente favorecerá la integralidad del traspatio, la inocuidad de los productos de ésta (peces y vegetales de manera integrada) y la sustentabilidad de los recursos naturales que intervienen en este proceso, sino que enriquecerá aún más la seguridad de alimentaria.

3.8 Soberanía Alimentaria

Además de tomar como referencia este concepto de seguridad alimentaria que ha propuesto la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, existen controversias alrededor del uso de este término, y esto se debe a que no representa ni satisface las necesidades, luchas y derechos de grupos sociales como indígenas y campesinos de todo el mundo.

Es por ello, que han existido propuestas como las de algunos movimientos sociales y la organización de La Vía Campesina, la cual ha propuesto y manejar la soberanía alimentaria, y la definió como *“El derecho de los pueblos a alimentos saludables y culturalmente apropiados, producidos mediante métodos ecológicamente respetuosos y sostenibles, y su derecho a definir sus sistemas alimentarios y agrícolas. Para garantizar una alimentación saludable para todos sin dejar de estar en armonía con la naturaleza (Vía Campesina, 2021)”*

Este término surgió en la cumbre contra el hambre de la FAO en el año de 1996 y como una alternativa que le hacia el frente a las políticas neoliberales y la globalización, ya que algunas prácticas, como el libre comercio y el *dumping* están dentro del paradigma del capitalismo, las cuales limitan a los pequeños productores y campesinos de todo el mundo en la venta de sus productos; por lo tanto éstos están -orientados y restringidos a la toma de decisiones sobre qué producir, qué consumir e influye en qué se va a

destinar a la alimentación; tal como sucede con el modelo de la agricultura por contrato o la influencia a dedicarse a monocultivos que están de “moda” y son altamente rentables, sin embargo, los limita a los precios impuestos por empacadoras extranjeras, siendo esta la característica del modelo Neoliberal.

Efectivamente, el concepto de soberanía alimentaria da la impresión que se confronta al de seguridad alimentaria: el primero promueve el derecho de los pueblos a definir sus propias políticas y estrategias sostenibles en la producción, distribución y consumo de alimentos, se fundamenta en la autonomía y autodeterminación de los pueblos con base en la pequeña y mediana producción, priorizar la producción local de alimentos, la diversidad de los estilos de producción, el acceso de las y los productores a la tierra, el agua, a las semillas y al crédito; y que la producción de alimentos respondan a las necesidades nutricionales, diversidad, cultura y preferencias. Algunos de estos postulados trascienden el ámbito local de las comunidades para insertarse en el estado nacional, y con quienes son responsables de producir alimentos, lo cual se puede interpretar que debe procurarse la autosuficiencia y no solamente la disponibilidad y acceso económico a éstos (aunque no se produzcan localmente, ni en el propio país), entre otros, como lo fundamenta la seguridad alimentaria. Por supuesto, la gran responsabilidad de procurar la soberanía alimentaria recae en el Estado nacional, quien puede proponer e implementar políticas, programas y apoyos para que la soberanía alimentaria pueda ser una realidad.

Empero, aunque sea una responsabilidad del Estado, se hace necesario concientizar a la población para no ser dependientes de otros Estados en materia alimentaria. Por lo que la producción de alimentos de manera local, respetando la diversidad de estilos de producción de alimentos de las familias, para que dichos alimentos sean adquiridos y consumidos primordialmente en las comunidades donde se producen, es una responsabilidad de los productores familiares de subsistencia y de transición (aquellos con superficies de cultivo y recursos económicos limitados, que llevan a cabo el proceso productivo utilizando su propia mano de obra). Responsabilidad que por el hecho de poseer o usufructuar una superficie de cultivo (aunque sea pequeña) debe comprometerse a lograr la autosuficiencia para la propia familia y un excedente para

venderlo en los mercados locales. Lo cual abona para que el Estado nacional se comprometa a implementar políticas y programas que hagan posible la soberanía alimentaria.

En la comunidad objeto de la presente investigación se han logrado avances importantes para contribuir con los diversos aspectos que inciden de manera positiva en lograr la seguridad alimentaria, sobre todo, en la disponibilidad, acceso a los alimentos, en la utilidad nutritiva de éstos y de manera aún incierta en lograr la estabilidad de dicha seguridad alimentaria, esto lo sabremos si las prácticas que promueven la sustentabilidad de los recursos naturales, si se continúan produciendo alimentos para la autosuficiencia de la familia y excedentes para el consumo de otras familias no productoras y se vuelven permanentes en el futuro y son adoptadas por una cantidad mayor de productores. La puesta en marcha de las prácticas antes aludidas ha sido posible gracias a una intensa capacitación que ha permitido el desarrollo de conocimientos y destrezas no sólo en los aspectos técnicos relativos a la producción de alimentos sino en aspectos que incluyen el cuidado y preservación de los recursos naturales, importancia de las relaciones de género en la familia, empoderamiento de la producción local, circuitos cortos de comercialización, entre otros, y con métodos de enseñanza aprendizaje participativos, lo cual contribuye en afianzar los elementos que permitan entender la importancia de la soberanía alimentaria.

3.9 La Acuaponía

Por otro lado, la Acuaponía es un sistema cerrado, por medio de la circulación de nutrientes, en la cual, por medio del flujo de agua se recuperan los desechos de los animales acuáticos para ser transformado por bacterias del ciclo de nitrógeno para que sean asimilados por las plantas y retornen al ciclo (Rakocy et al., 2006).

La palabra Acuaponía surge de la combinación de las palabras acuacultura e hidroponía. Estas dos tecnologías se encuentran ampliamente desarrolladas en el mundo actualmente, con ventajas y desventajas, mismas que a continuación, se desarrollan brevemente.

La Acuicultura, como disciplina científica, es el cultivo de peces de manera controlada para el consumo humano, puede ser a baja o alta intensidad, se cultiva una alta variedad de peces y algunas otras especies como invertebrados. Entre sus ventajas destaca la generación de alimento para el consumo humano, creación de empleo, control de plagas acuáticas, desalinización de suelos agrícolas para su recuperación y ayudar a controlar la caza ilegal. Algunas de sus desventajas se deben a que la alta concentración de residuos de alimento y el amonio de las excretas de los peces presentes en el agua de cultivo se vuelve una gran fuente de contaminación en ríos, manantiales y, finalmente, el océano.

Por otro lado, la Hidroponía es la producción de plantas sin suelo, que por medio de soluciones preparadas se proporcionan los nutrientes necesarios para poder crecer. Su principal ventaja es el uso óptimo del agua de riego de los cultivos, al reducir en 20 veces menos la cantidad de agua requerida para el crecimiento de las plantas, con relación a un cultivo en suelo (Negocios Agropecuarios, 2019). Así mismo se destaca que en este sistema productivo la optimización del espacio es muy relevante, ya que al ser un cultivo sin suelo puede cultivarse de forma vertical, aprovechando la luz, agua y espacio. Entre las desventajas se mencionan la alta atención y experiencia requerida por los usuarios, ya que al estar conectados y tener un mismo medio de nutrición las enfermedades pueden dispersarse más rápido, colapsando al sistema productivo, y si son granjas hidropónicas, las pérdidas económicas pueden ser significativas, además que hace uso de nutrición por medio de los agroquímicos, produciendo alimentos aún con residuos de estos compuestos, generando problemas de salud en el largo plazo (Caldas et al., 2019).

Es por ello, que la Acuaponía surge como una alternativa para aprovechar la alta carga de nutrientes en el agua del cultivo de peces de la Acuicultura, transformándolos por acción de las bacterias específicas, y así estos nutrientes en el agua sean aprovechados por las plantas tal como lo propone el modelo hidropónico.

3.9.1 Historia de la Acuaponía

En la historia de la Acuaponía es importante destacar que existe un preámbulo milenario, ya que culturas precolombinas (aztecas) y asiáticas, ya producían por medio de un

sistema similar; son los casos de las chinampas (ver Figura 2.) en las regiones de los lagos de Xochimilco y Texcoco, en México.

El Imperio Azteca fundador del viejo Tenochtitlan, desarrolló la tecnología para la producción de alimentos conocida como chinampas, la cual aportó grandes avances tanto para la cultura hídrica y para alcanzar altas tasas de producción agrícola en la historia de Mesoamérica. Estos sistemas productivos se constituyeron de una red de islotes rectangulares de tierra orgánica de aproximadamente entre 10 por 100 metros, los cuales se construían a las orillas de los lagos y humedales, y se tenía acceso a estos islotes por medio de canales. En estos espacios de tierra sobre la cuenca del Valle de México, ubicado entre las montañas del Eje Volcánico Central mexicano, donde se sembraba maíz, frijol, chile y calabaza (milpa), y se mantenía la simbiosis entre los animales acuáticos como algunos peces y ajolotes, los microorganismos y las plantas, y no dependían directamente de las lluvias por estar sobre los lagos, siendo un sistema agro hidrológico intensivo sustentable (Díaz, 2006; Martínez, 2004).



Figura 2 Chinampas.

Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018

Por otro lado, en Asia se tienen registros históricos que demuestran la ancestralidad de la combinación de los cultivos de arrozales y peces (ver Figura 3.) como se muestra en ilustraciones en antigua cerámica china donde se representan arrozales con peces, así como en dichos tradicionales de Vietnam donde se pronuncia “el arroz y pescado son como una madre y sus hijos”; estos son testimonios de la importancia en la cultura asiática para la producción de arroz de forma extensiva, debido a la consecuencia positiva que implica la combinación de los cultivos, aprovechando el agua y la simbiosis generada (FAO, 2012).



Figura 3 Mujeres en el distrito de Güllín en China, en los tradicionales arrozales.
Fuente: Dreamstime, 2022.

Con el paso del tiempo, alrededor de los años de 1970 y 1990 se comenzó a sistematizar y conocer como Acuaponía por trabajos en países de Europa y en Estados Unidos, y particularmente por los trabajos realizados en las Islas Vírgenes con el investigador Rakocy, donde se diseñó y difundió el primer modelo comercial (Figura 4.).



Figura 4 Cosecha de lechuga bajo la tecnología de acuaponía, Islas Vírgenes.
Fuente: Rackocy, 2006

3.9.2 La Acuaponía actual

Esta tecnología está integrada a los sistemas agro-acuícolas, los cuales consisten en la integración de prácticas Acuícolas con producción agrícola. Es por ello que la Acuaponía es una de las alternativas que busca reducir los niveles de amonio en los sistemas acuícolas y así evitar los altos recambios de agua, por lo que las plantas se volvieron en primer momento un elemento exclusivamente filtrador, ya que acumulan los desechos metabólicos evitando que salgan a la atmosfera y al agua; con el paso del tiempo las plantas del sistema acuapónico se han convertido en un componente importante, ya que

se obtiene un producto para la alimentación de alta calidad y también permite el retorno de inversión más rápido, porque los ciclos productivos son más cortos que los de los peces (Stouvenakers et al., 2019). Esta tecnología reduce el impacto ecológico que existe actualmente para la producción convencional de alimentos de peces y plantas, por lo que contribuye al cuidado del medio ambiente, y se encuentra dentro de las propuestas de la FAO dentro del Informe del Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2020, para generar modelos sustentables y producir alimentos para la población mundial (FAO, 2020). Así, las ventajas de esta tecnología, es que aprovecha los recursos naturales, económicos y sociales:

- 1) Los recursos naturales se aprovechan al cuidar el agua y su ciclo, evitando que sea altamente contaminada con la alta carga de amonio generado por las excretas de los peces en Acuicultura tradicional, por lo que en este modelo se reutiliza para la producción de alimentos.
- 2) Los recursos económicos se aprovechan ya que al establecerse una recirculación óptima se eliminan los altos gastos en fertilizantes químicos normalmente utilizados para producir hortalizas y frutales, por lo tanto, la inversión en alimento para los peces se aprovecha y vuelve a ingresar al sistema. Asimismo, la venta de estas hortalizas y pescado genera una oportunidad de ingreso económico.
- 3) Por lo tanto, los recursos sociales se aprovechan con la participación de las personas que diseñen, elaboren y mantienen los módulos productivos. Para llevar a cabo esto, algunas áreas del conocimiento como Matemáticas, Biología, Física y Química son indispensables hacer uso de ellas, desarrollándolas no de forma convencional, repitiendo fórmulas o conceptos, sino, dentro de un aprendizaje significativo, permitiendo el desarrollo de la creatividad, cognitivo y lógico. Estas áreas del conocimiento que suelen tomarse como complicadas, aquí, son palpables y funcionales, todas tienen una misión, la cual es resolver y entender problemas de la vida diaria y cotidiana.

Esta tecnología se encuentra en crecimiento y existen distintas propuestas de diseño para generar módulos donde se puedan aprovechar a los tres elementos que componen

la Acuaponía: peces + bacterias + plantas. Esta recirculación tiene que ser equilibrada, así que el diseño, la elaboración y el mantenimiento, que permita la recreación del ciclo biogeoquímico del nitrógeno y del agua son muy importantes para su desarrollo.

El sistema acuapónico debe de ser diseñado y encontrar su equilibrio. Retomando los principios de la teoría de sistemas, desde una visión holística a partir de la comprensión que cada una de las partes componen el sistema y son muy importantes para su funcionamiento. Los elementos que entran o salen, al interactuar con alguno de los componentes afecta de forma directa en menor o mayor medida a todo el sistema. Esta complejidad permite generar una visión integral, que se acerca más a las realidades en la naturaleza, lo cual ha sido un principio que ha permitido la vida en la Tierra, elemento que puede generar la permanencia y sostenibilidad del sistema en el tiempo (Cathalifaud y Osorio, 1998).

El sistema acuapónico es un sistema cerrado, ya que el ingreso del alimento para los peces, determina la base del sistema, pues la transformación del alimento por medio de su consumo genera el suficiente amonio; que por medio de la cantidad adecuada de bacterias del ciclo del nitrógeno presentes en el sistema, transformaran en nitratos y nitritos, y finalmente esa cantidad de nitritos disponibles para las plantas permitirá obtener la suficiente cantidad de productos para el autoconsumo y/o venta.

Por otro lado, es importante profundizar en las bacterias como un componente que quizá se pierde de vista, pero es el crucial para que funcione el sistema. Por lo que se debe de mantener condiciones ideales, evitar contaminar con otros instrumentos o la entrada de otros animales, ya que, al ser un sistema cerrado, si se contamina un apartado, todo se afecta.

El sistema acuapónico, aparte de peces también produce hortalizas de hoja como lechugas, espinacas, acelgas entre otras, hasta hortalizas de fruto como jitomate, chile, generando una variabilidad en la dieta de los consumidores. Este sistema se puede adecuar a las necesidades de las personas que lo manejen, ya que existen modelos de gran escala con grandes granjas comerciales y, por otro lado, de pequeña escala, los cuales pueden acondicionarse en la ciudad, dentro del hogar, funcionando también como

decoración y entretenimiento para la familia; esos mismos modelos de pequeña escala, pero con distintos diseños, pueden adecuarse a comunidades rurales, en traspatios o escuelas. El manejo de los módulos productivos es versátil, ya que pueden ser educativos que manejen niños, niñas y/o jóvenes y, por otro lado, para el autoconsumo pueden ser manejados por mujeres, hombres o adultos mayores.

Algunos autores, como Jiménez (2016), han propuesto que las actividades realizadas en el mantenimiento de los módulos productivos de Acuaponía, pueden desarrollar habilidades matemáticas a través de las prácticas cotidianas como: la medición, registros de pesos y tallas de plantas y peces, determinación de alimento diario a peces, cálculo acerca de requerimientos y relación de alimento de peces y número de plantas en cultivo, registro de datos, cálculo de áreas y densidades de plantas según los desechos de peces por mencionar algunas.

Asimismo, en el área de ciencias ambientales y biológicas se identifican las interacciones de los organismos en los ecosistemas, los ciclos biogeoquímicos, ciclo del nitrógeno, interpretación y comprensión de parámetros fisicoquímicos como el potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, temperatura, comprensión de la primera ley de la Termodinámica, el crecimiento de organismos autótrofos por medio de la fotosíntesis, entre otras.

3.9.3 Acuaponía para el autoconsumo

En el presente trabajo se enfoca a los sistemas productivos acuapónicos que son a pequeña escala y para el autoconsumo familiar. Estos tienen como característica que son de baja intensidad (no requieren mucha energía, inversión y atención para su mantenimiento) no tienen una alta productividad como para comercializar todo el año, sin embargo, es suficiente la producción del alimento para el auto abasto familiar y proveer algún ingreso que permita complementar la supervivencia de la familia.

Es relevante mencionarlo que en la tecnología de Acuaponía existen dos tipos de sistemas productivos; aquellos que son de gran escala como las granjas industriales y tienen una alta producción; y, por otro lado, aquellos que son pequeños sistemas de baja escala, y están diseñados para el auto abasto alimenticio o para fines educativos. En

cualquiera de ambos casos la parte fundamental para el éxito de un sistema acuapónico por su grado de complejidad y sostener a tres tipos de subsistemas con especies de tres reinos diferentes peces (Reino Animal) + plantas (Reino Vegetal) + bacterias (Reino Monera). Por lo que es primordial el diseño que se genere de éste, ya que la elección que se tenga y como será cada componente, como el tipo y tamaño del estanque, filtros y componentes hidropónicos determinaran la cantidad del tiempo que se le dedique al sistema, la productividad que se tenga, la complejidad del mismo, así como la demanda de mayor capacitación para poder manejar el sistema acuapónico; sin embargo, en ambos tipos de escala se genera el desarrollo de habilidades y adquisición de conocimientos por los actores que manejan los sistemas.

En el presente trabajo nos centraremos en los sistemas de baja escala y en específico a aquellos diseñados para la producción de alimentos en traspatios familiares, en donde se centra en el diseño adecuado para dichos contextos, en los retos de la complejidad del sistema para las dinámicas de familias dedicadas a la agricultura familiar en transición y también tanto las oportunidades y retos a enfrentar dentro de un contexto de innovación ecológica y social.

3.10 Herramientas de Diseño

Se considera que para que existan nuevos modelos de propuestas hacia sociedades regenerativas y soluciones sustentables ante la crisis climática y social de nuestros días, se deben de generar modelos basados en diseños novedosos, pertinentes y eficientes, es por ello por lo que el aspecto de diseñar se vuelve altamente relevante cuando queremos hablar sobre dichas propuestas. El presente trabajo toma muy en cuenta este aspecto, por ello se han tomado algunas herramientas de diseño como la Permacultura para proponer los sistemas acuapónicos dentro del contexto de las familias dedicadas a la agricultura familiar.

Es por ello, que partimos a preguntarnos, ¿Qué es la Permacultura?

La Permacultura, término propuesto por Bill Mollison y David Holmgren, en los años de 1970 en Australia, se refiere al uso de pensamiento sistémico y principios de diseño como estructura organizativa para la realización de paisajes que imiten patrones y relaciones

ya existentes en la naturaleza donde haya abundantes cantidades de comida, fibras y energía para satisfacer las necesidades locales.

En esta disciplina los principios éticos son el cuidado de la tierra, de las personas y límites al consumo y la reproducción y redistribución de los excedentes. Existen también los principios de diseño los cuales son los siguientes (Holmgren, 2002):

1. Observa e interactúa
2. Captura y guarda energía
3. Obtén un rendimiento
4. Autoregulación y retroalimentación
5. Usar, valorar los servicios y recursos naturales
6. Deja de producir residuos
7. Diseño de los patrones a los detalles
8. Integrar más que segregar
9. Usar soluciones lentas y pequeñas
10. Usar y valorar la diversidad
11. Usa los bordes y valora lo marginal
12. Usa y responde creativamente al cambio

La práctica de la Permacultura ha crecido con el paso de los años y el término ha venido cambiando, evolucionando y convirtiéndose en mucho más versátil, ya que la Permacultura se puede aplicar para el diseño tanto de ciudades, comunidades, fincas productivas, como también sistemas pequeños, rutinas diarias, etc.; lo que se busca es desarrollar nuevos patrones de comportamiento y acciones humanas que sean eficientes, que repitan los patrones de la naturaleza para que sean exitosos y duren en el tiempo cuidando de las personas y los recursos naturales (Figura 5).

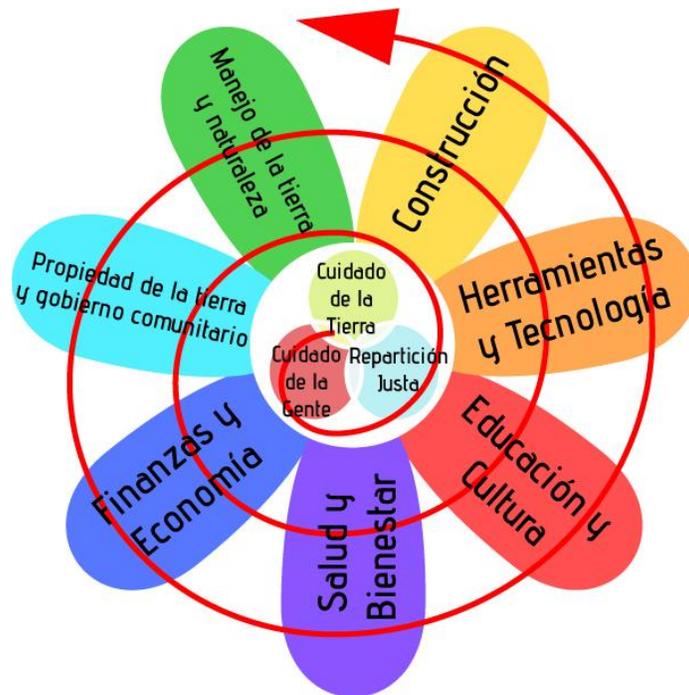


Figura 5 Flor de la Permacultura: La ética de la Permacultura.
Fuente: tierrapermanente.com

3.11 Conceptos sobre la Investigación Acción Participativa

Dentro del presente trabajo y con el fin de probar la tecnología de Acuaponia (como una alternativa del adecuado uso y promoción en la gestión del agua, la economía circular y la seguridad alimentaria), exponerla ante una realidad social dentro del contexto de la agricultura familiar de subsistencia y de transición. Se debe consignar que para fines de este trabajo las personas involucradas en los sistemas acuapónicos son directamente responsables de la instalación de los sistemas en cuestión, de buscar información de las especies piscícolas y vegetales que se cultivaran, toma de datos sobre los elementos fundamentales relacionados con los tres subsistemas que constituyen el sistema acuapónico, compartir información con los demás miembros que atienden los sistemas para prever amenazas y aprovechar oportunidades de mejorar los distintos aspectos como producción, manejo, adquisición de insumos, posibles mercados, entre otros. La participación de los involucrados permite conocer los distintos aspectos que favorecen el buen funcionamiento de los sistemas, experimentando y aprendiendo de los distintos procesos que demandan el mantenimiento, conservación y ampliación de la innovación que están ensayando.

Es por ello, que a continuación, se explicarán algunos de los conceptos básicos relacionados con la propuesta metodológica de la investigación acción participativa; ya que está cobra relevancia por su forma en la que conceptualiza la creación del conocimiento, su fin y aplicación dentro de la sociedad.

Los orígenes de este tipo de investigación, se remontan a los años 1940 y 1950, en donde autores, como Kurt Lewin, basándose en la teoría psicosocial, propuso un método que combinara la investigación acción, más tarde Fals Bordan, crea el método de la investigación acción participativa, el cual se centra más en las características históricas y de estructura social, en donde lo que algunos revisores de sus trabajos afirman que la finalidad de estos trabajos generaron la orientación donde el conocimiento producido desde las instituciones académicas se conciba para que tenga una acción social dentro de la comunidad (Paulo, n.d.).

Dentro de la orientación de los trabajos que se realizan en las ciencias sociales del tipo de investigación cualitativa, existen distintos fines, como lo es dar voz a grupos marginados, disminuir las injusticias sociales, promover la participación de los miembros en las comunidades y convertirse en actores activos que propongan soluciones a los problemas; por lo tanto, se contextualiza a la investigación acción participativa dentro de esta orientación, ya que a los miembros de grupos con los que se trabaja son vistos como agentes de cambio, no como objetos de estudio, lo que predomina en la investigación tradicional.

La base epistemológica de este tipo de investigación es la participación de los agentes de cambio, quienes se encuentran dentro de un proceso que se le denomina “aprender-aprender” ya que, se plantea que tanto los investigadores como los agentes de cambio dominan conocimientos, cada uno en distintas áreas y distintos aspectos, y al romper con los esquemas tradicionales de pedagogías jerarquizadas, permite que el conocimiento *per se* pueda desarrollar habilidades de análisis y pensamiento crítico que permita observar procesos de la realidad y actuar sobre ellos; asimismo, desarrolla las habilidades de búsqueda, por ejemplo, saber a qué fuentes recurrir en caso de requerir información, es decir que ellos tomen el control y no es al revés, que sean controlados. Y todo esto deriva las actividades centrales de todo este proceso, a saber: primero, contar con información, está se debe de generar desde los grupos, conocer su comunidad, necesidades, etc.; la segunda actividad es la educación, en esta parte del proceso los participantes aprenden a hacer uso adecuado de esa información, por medio de capacitaciones u otras herramientas y con su propio conocimiento permite que los participantes se auto perciban no como víctimas, sino, como agentes de transformación social; Eso nos lleva a la tercera actividad que es la acción, en la que se llevan a cabo planes de trabajo concretos a la solución y practica de los problemas (Reiswig, 2010).

También, este tipo de investigación toma conceptos e ideas de la educación popular, y de autores como Paulo Freire; este último desde sus propuestas realizadas en sus obras como *La pedagogía del oprimido* (1968) o el de *¿Extensión o comunicación? La concientización en el medio rural* (1973), en las que cuestiona el trabajo realizado con campesinos en su actividad primordial, partiendo de que los modelos de reforma agraria,

con la difusión de tecnología e insumos han generado procesos de “extensión agraria”, las cuales históricamente han respondido más a intereses correspondientes a la “Revolución Verde” e incluso una invasión cultural, la cual somete y no genera procesos de desarrollo, concientización y libertad en las personas. Es por ello, que, el pedagogo y filósofo brasileño Paulo Freire plantea que los “oprimidos” se han visto en desventaja y para equilibrar este problema histórico, es importante incorporar procesos de diálogo y comunicación como aspectos básicos y fundamentales en los procesos de educación y de acompañamiento en proyectos de desarrollo rural (Freire, 1987; Freire, 1973).

Profundizaremos un poco más acerca del proceso de comunicación y diálogo, ya que es lo que concierne al presente trabajo, estos procesos toman alta relevancia al momento de poner a prueba una tecnología, pues esta retroalimentación basada en los intereses de los participantes permite su mejoramiento.

Es por ello qué, primero retomando las palabras de Freire, que establece como premisa y conceptualiza al hombre y su capacidad: (...) “como un ser de relaciones, desafiado por la naturaleza, la transforma con su trabajo; el resultado de esta transformación, que se separa del hombre, constituye su mundo. El mundo de la cultura, que se prolonga en el mundo de la historia” [...] La intersubjetividad, o la intercomunicación, es la característica primordial de este mundo cultural e histórico” (Freire, 1973, p. 73).

Es por ello qué para la generación del conocimiento que sea útil para el ser humano, es básico que se dé un intercambio dialógico, por medio de signos lingüísticos, lo que nos da como resultado la comunicación. Y para que sea llevada a cabo de forma eficiente, los sujetos deben de estar en un marco común para que puedan estar de acuerdo. Por lo que, en la acción de comunicación y diálogo, realizado entre técnicos y campesinos se toma en cuenta también el humanismo científico, es decir, comprender al humanismo que rechaza la manipulación y lo cosifica, es más bien el humanismo que concibe al ser humano con la capacidad de transformar al mundo, “los hombres pueden superar la situación en que están siendo un casi no ser, y pasan a ser un estar siendo en búsqueda de un ser más” (Freire, 1973, p. 84). Por lo tanto, una actividad central de investigación acción participativa es la educación, pero una educación con acción comunicativa dialógica.

3.12 Características Físicas del Área Objeto de Estudio

La comunidad de San Felipe Coapexco, pertenece al municipio de Cohuecan del estado de Puebla. El municipio de Cohuecan, colinda con el estado de Morelos al norte, al este y al sur, mientras que al oeste con la comunidad de Acteopan del estado de Puebla. Dicho municipio se localiza al centro oeste del estado y aproximadamente a 80 kilómetros al oeste de la ciudad de Puebla. En cuanto a la información geográfica se encuentra a una Longitud 98° 42' 19.632 W, Latitud 18° 49' 13.107 N, Altitud 1,828 metros sobre el nivel del mar.

San Felipe Coapexco cuenta con una población de 657 habitantes. El grado de marginación está clasificado por INEGI como alto y un rezago social medio, no cuenta con población predominantemente indígena (INEGI, 2020).

3.13 Características Socioeconómicas del Área Objeto de Estudio

Para el presente trabajo, es importante identificar el contexto socioeconómico de la comunidad, ya que esto, influye en los procesos de innovación tecnológica y aclarece la importancia de la innovación social; esto influirá o no para el establecimiento de los sistemas acuapónicos diseñados para las familias de la comunidad.

De acuerdo con informes del Instituto Nacional de Estadística y geografía (INEGI) las actividades económicas se realizan en el mismo lugar que habitan, además se identificó que los cultivos son destinados para el consumo familiar, se realizan actividades de recolecta de plantas, pesca y caza de animales, y la principal actividad económica es el cultivo y cosecha de productos agrícolas, siendo el maíz el principal.

Ahora bien, las principales actividades económicas de la comunidad son la producción de cereales como el maíz, frijol, sorgo y amaranto (en agricultura de temporal), alfarería (producción de comales y jarros de barro) algunos oficios como jornaleros, albañiles y talachero. Generalmente venden los productos en la comunidad a primeros intermediarios, además de comercializar algunos productos en Izúcar de Matamoros, Morelos y México (Aguirre et al, 2013; Pimentel, 2010). Algunos de los problemas que enfrentan los habitantes de la comunidad y afectan las actividades productivas son

aquellos generados por los daños ocasionados por fenómenos naturales como la sequía, temblores, huracanes y por plagas y enfermedades a los cultivos.

Por otro lado, es importante mencionar que en la zona se sigue haciendo uso de insumos químicos en las labores agrícolas, afectando la salud de los agricultores y sus familias, contaminando también el suelo y agua, lo cual es de vital importancia concientizar a los pobladores sobre el aprovechamiento y valorización de los recursos naturales.

Es importante destacar que la comunidad de San Felipe Coapexco, es considerada como población con alto índice de marginación y tiene una orientación fundamentalmente para la producción agrícola en los cultivos de maíz, sorgo y amaranto a nivel parcelario en superficies relativamente pequeñas (menores a dos hectáreas); y la explotación del barro mediante la elaboración de comales. En este contexto toma relevancia el traspatio como un área productiva diversificada donde se produce una diversidad de frutales y en los últimos años dominando el aguacate y limón, así como especies pecuarias como aves y borregos.

Por otro lado, en el marco del fomento al Desarrollo Social, dentro de la política del Estado mexicano, existen estrategias de apoyo para la erradicación de la pobreza y la puesta en marcha de programas relacionados al desarrollo rural y el fomento a la seguridad alimentaria. En el contexto del estado de Puebla, según el Informe de Pobreza y Evaluación 2020 destaca que para el periodo 2008-2018, el 20.4% de la población se ubicó en la categoría de carencia por acceso a la alimentación y la entidad federativa ocupó el lugar 13 de las 32 (Consejo Nacional de Evaluación de la Política del Desarrollo Social, 2020). De manera particular el municipio de Cohuecan, Puebla en el 2015, para esta misma categoría, se encontró en el rango de 20.9-26.0 % (CEFP, 2018), lo cual nos indica que existe un precedente para accionar hacia la generación de bienestar y calidad de vida de las personas de esta región.

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Metodología del Mejoramiento del Traspatio

Como en muchas comunidades rurales, en San Felipe Coapexco, a pesar de estar rodeados de una riqueza natural y accesibilidad de espacios para la producción de alimentos, su población presenta índices de desnutrición y enfermedades crónicas degenerativas, lo cual, hace necesario establecer dinámicas productivas que permitan proveer de alimentos inocuos, accesibles y con alto contenido nutricional como lo es el pescado y hortalizas frescas, a través de proyectos que fomenten la seguridad alimentaria.

El acompañamiento y búsqueda de alternativas se ha generado desde instituciones internacionales como FAO y nacionales gubernamentales y no gubernamentales, y académicas. Una de ellas como se ha mencionado anteriormente, ha sido el Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, en donde se ha trabajado en la comunidad bajo un modelo de intervención-acompañamiento y con la metodología para el mejoramiento del traspatio. En donde se generaron experiencias del proyecto de investigación-intervención con 39 familias y sus respectivos traspatios en tres comunidades distintas del estado de Puebla: San Miguel Cosahuatla, Huatlatlauca; Tanamacoyan, Hueyapan y; San Felipe Coapexco, Cohuecan. En esta última comunidad se trabajó con 12 familias y sus respectivos traspatios en los que se establecieron huertos de hortalizas, jardines de la salud, producción de abonos orgánicos de alta calidad (lombricomposta y lixiviados), manejo de aves, incremento del valor agregado de alfarería y formación de un grupo de ahorro y préstamo. Para cada uno de estos componentes se trabajó de manera participativa, donde se brindaron capacitaciones, talleres reflexivos, giras de aprendizaje, visitas a otras experiencias y algunas acciones de turismo rural. (Álvarez et al, 2012).

Dentro de este modelo se propuso la incorporación de un elemento más, el sistema acuapónico, debido a que las condiciones del clima de la región son favorables para la crianza y producción de la tilapia y vegetales de manera integrada, también es accesible el agua ya sea de pozo y/o potable. Esta decisión tomó como base el interés mostrado

por las familias del grupo “Nuevo Amanecer” por conocer acerca del sistema productivo, además por consumir este alimento más seguido. Por otro lado, existen experiencias de producción de tilapia en las comunidades de alrededor como Tlacotepec, Morelos. Por otro lado, la tecnología de Acuaponía por sí misma y sus características mantiene una dinámica que fortalece la visión para el manejo integral del traspatio al fomentar la biodiversidad productiva, la optimización de los recursos naturales y la participación de la familia, para la obtención de alimentos de alta calidad nutritiva.

Por otro lado, dentro del aspecto del dominio y experiencias de la tecnología de Acuaponía dentro del estado de Puebla, el proyecto de Seguridad Alimentaria de académicos del Colegio de Postgraduado, Campus Puebla, ha trabajado con experiencias previas dentro de la Microrregión de Atención Prioritaria (MAP)* Valles de Puebla, y particularmente en la zona de San Lorenzo Almecatla. En esta comunidad se trabajó con el diseño y la identificación de la percepción de los miembros de la Cooperativa “El Porvenir” sobre los gustos e intereses de los sistemas acuapónicos. Cabe destacar que este grupo desde hace aproximadamente seis años ya ha trabajado y recibido una capacitación exhaustiva sobre la producción en pequeños espacios y en zona periurbana, bajo el modelo de “mandala traspatio”. Es por ello que se intentó introducir ahora la tecnología acuícola, bajo la petición de los miembros del grupo, debido al interés por producir, pero sobre todo consumir pescado y también la necesidad por el abastecimiento de agua para la producción de hortalizas. Debido a que la Acuaponía es una de las mejores tecnologías dentro del marco de la sustentabilidad para producir peces y plantas, se decidió comenzar con el diseño e introducción a esta zona (Figura 6).

Este trabajo trajo como resultado la incorporación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeños estanques, sin embargo, debido a la nula experiencia y por lo tanto desconocimiento del tema y falta de información contextualizada a la región, los resultados obtenidos no fueron los esperados, ya que la especie acuática (tilapia) introducida no contó con las condiciones favorables para su desarrollo, en particular la temperatura adecuada del agua. Otro factor que influyó fue la poca capacitación que se brindó a los participantes sobre el manejo de los sistemas acuapónicos debido a que

este estudio se realizó durante el periodo de la pandemia generada por la enfermedad por coronavirus (COVID-19), las actividades grupales se vieron limitadas y por lo tanto las capacitaciones y diálogo entre los participantes se llevaron a cabo en muy pocas ocasiones.

Es por ello que a partir de esta experiencia se decidió continuar trabajando y afinando la tecnología de Acuaponía en pequeños espacios, que sea para el autoconsumo, y diseñado dentro del modelo integral de traspatio. Para lo cual se decidió establecer un módulo experimental, con cierto grado de control en las instalaciones del Campus Puebla y extender esta experiencia a la comunidad de San Felipe Coapexco, con base a los trabajos previos y a sus condiciones climáticas más favorables para la producción de tilapia.



Figura 6 Diseño de uno de los primeros sistemas acuapónicos instalados en casa de la señora Lucia, en San Lorenzo Almecatla.

Fuente: Propia

4.2 Fundamento Metodológico

Debido a que el presente trabajo se encuentra dentro del marco del modelo teórico de la mandala del traspatio, se toma como referencia el modelo de intervención propuesto por Aguirre et al, (2016), en el cual se toman como fundamentos de participación e intervención los siguientes puntos:

1. La integración de saberes locales con el conocimiento científico.
2. El establecimiento de procesos participativos en la toma de decisiones por parte del grupo y de más actores, donde se privilegia el bien común.
3. El punto de partida toma como base la disponibilidad de recursos locales y su potencial, la pluriactividad local y las expectativas de los participantes.
4. Se participa a partir de un principio de búsqueda de reducción de la dependencia tecnológica externa.
5. Se propician procesos de innovación locales que posteriormente permitan desarrollar micro y macroempresas.
6. Todo el modelo se fortalece mediante procesos de autogestión en búsqueda del desarrollo humano de los participantes y sus familias, así como de la comunidad y los demás estratos de la sociedad.

Dicha investigación cualitativa se fundamenta con algunos elementos del método de la investigación acción participativa (IAP) como la toma de participación de los actores en todo momento; y también dentro de la metodología para el mejoramiento del traspatio (Aguirre et al, 2016) la que está integrada por 15 elementos:

1. Delimitación del área de acción y población objetivo
2. Diagnóstico participativo
3. Eventos de enseñanza aprendizaje (teórico práctico)
4. Módulo de traspatio en investigación-producción

5. Mejoramiento tecnológico por subsistema
6. Transformación de productos
7. Seguimiento y sistematización
8. Giras de intercambio-participación en eventos
9. Innovaciones tecnológicas
10. Comercialización
11. Integración de microempresas rurales
12. Desarrollo de sistemas de agroecoturismo
13. Evaluación participativa
14. Formación de líderes
15. Generalización de la experiencia

El presente trabajo se desarrolló dentro de la propuesta del punto nueve, que es la innovación tecnológica. Ya que se diseñaron los sistemas acuapónicos dentro del Centro Demostrativo y de Investigación en Tecnologías Apropriadas en Agricultura de Traspatio del Campus Puebla Colegio de Postgraduados; y se contextualizaron dentro del suprasistema traspatio de dos familias campesinas en la comunidad de San Felipe Coapexco, como parte de la búsqueda del mejoramiento de la producción de alimentos dentro del aspecto económico-productivo.

El desarrollo de la investigación se dividió en dos etapas: Etapa I: Dominio de la tecnología de Acuaponía y; Etapa II: Implementación-validación en campo. A continuación se describen cada una de ellas (Figura 7.).

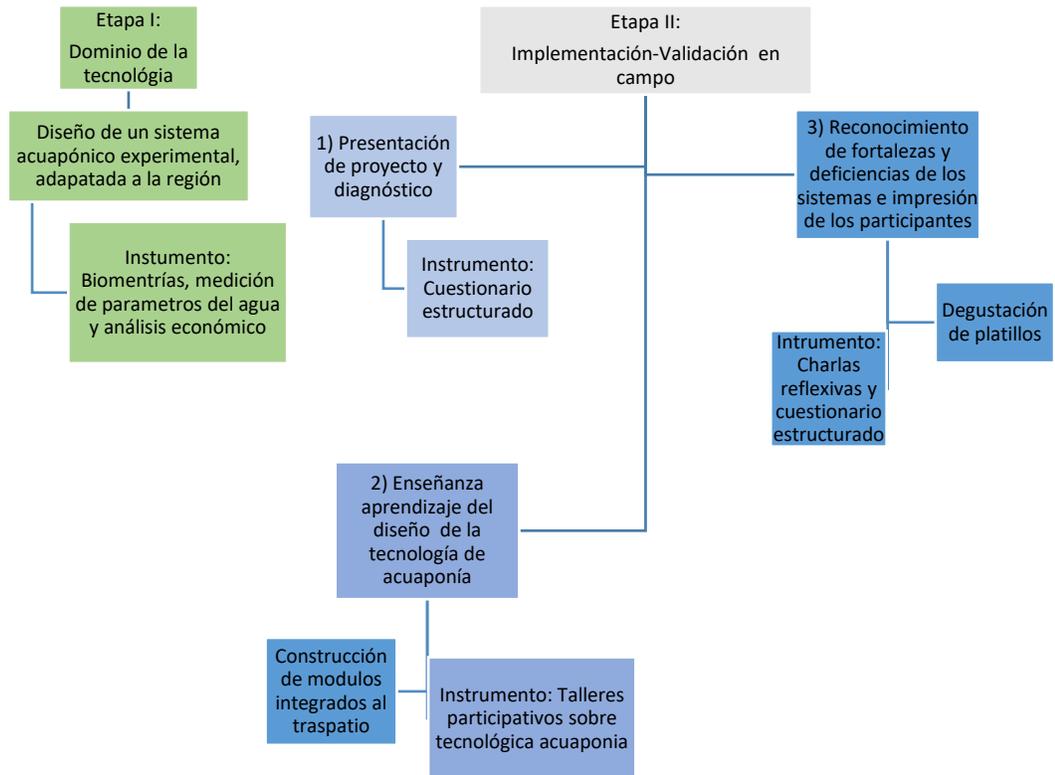


Figura 7 Guía metodológica del presente trabajo.
Fuente: Propia.

4.2.1 Etapa I: Dominio de la tecnología de Acuaponía

Como parte de un proceso para el mejoramiento del traspatio de las familias campesinas enfocado en el mejoramiento dentro del aspecto económico productivo, la incorporación de innovaciones tecnológicas y/o sociales es una parte fundamental, es por ello que en el proceso de formación de estas innovaciones sociales es fundamental la colaboración entre distintos organismos de la sociedad como las instituciones de investigación, la sociedad (grupos vulnerables) y organismos políticos. Bajo este contexto, el Centro Demostrativo y de Investigación en Tecnologías Apropriadas en Agricultura de Traspatio del Campus Puebla, Colegio de Postgraduados, se ha esforzado por proponer distintas alternativas productivas que tengan la finalidad de mejorar la producción de alimentos, pero también el cuidado de los recursos naturales; es por ello que se diseñó y construyó el Sistema Experimental Acuapónico.

Esta propuesta se desarrolló tomando en cuenta modelos existentes de distintas fuentes, como el modelo comercial propuesto por James Rackocy en las Islas Vírgenes, las aportaciones de la FAO en el documento de “Producción de alimentos en Acuaponía a pequeña escala” y también algunas de las propuestas australianas de pequeña escala publicadas en el manual “The IBC of Aquaponics” (Rakocy et al., 2006; Backyard Aquaponics, 2011 y; FAO, 2022).

Con base a la revisión realizada el sistema experimental acuapónico se integró por los subsistemas: a) Subsistema de acuacultura. Tanque de peces, b) Subsistema de filtración de agua, c) Subsistema de área de hidroponía para la producción vegetal, d) Subsistema conducción y reciclado de agua y d) Equipo utilizado.

- a) **Subsistema de Acuacultura. Tanque de peces.** Se ocupó un tanque IBC reciclado, con una capacidad de 1000 litros de agua. El cual fue previamente lavado y desinfectado para evitar la contaminación de los peces y acondicionado con base a las indicaciones del manual publicado por la FAO (FAO, 2022). Donde se eliminó la tapa superficial para facilitar el manejo de los peces, se realizaron las acciones pertinentes para el sistema de conducción del agua y se colocó sobre

base metálica para elevarlo del suelo, con la finalidad de aprovechar el efecto de gravedad para la conducción del agua con bajo consumo energético.

- b) **Subsistema de filtración de agua.** Este componente es crucial para el sistema ya que aquí es donde se separan los sólidos en el agua. Sus dimensiones pueden variar con base a la cantidad de peces que se ingresen al tanque, a mayor número de peces, mayor concentración de desechos y por lo tanto la necesidad de un sistema más eficiente para la transformación del amonio a nitritos y posteriormente a nitratos para que sean aprovechados por las plantas y reciclar el agua para la continuidad del sistema. Existen muchos diseños de sistemas de filtración de agua, como los filtros físicos, entre ellos los que son denominados sedimentadores de flujo radial, filtro tambor rotatorio entre otros. Para este caso y con base al nivel de escala productiva propuesta este componente se integró por:
- 1) Sedimentador de -sólidos grandes, mediante un sedimentador de flujo radial, (tambo de plástico de 200 litros de capacidad) elaborado con base en Rakocy et al. (2006), con la finalidad de retirar todas las excretas del tanque de peces. Se consideró una limpieza manual periódica, para mantener su eficiencia evitando hacer recambios que signifiquen mucho volumen de agua (1000 litros); y 2) El biofiltro, para su instalación se consideraron las condiciones de oscuridad, oxigenación que permita que se adhieran a algún medio rugoso y se genere el biofilm de bacterias del ciclo del nitrógeno para que transformen: $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$. En el sistema experimental se ocupó un tanque de 200 litros con tapa.
- c) **Subsistema de hidroponía (área vegetal).** Este componente corresponde a la producción de vegetales como parte integral del sistema de acuaponía, llevándose a cabo bajo tres técnicas diferentes: cama en sustrato, balsa flotante y película nutritiva. Para este caso se decidió establecer los tres modos de producción con la finalidad de identificar ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Para el caso de cama con sustrato y balsa flotante se utilizaron secciones de un contenedor IBC, tomando como guía las recomendaciones de la FAO (FAO, 2022). En este componente se manejarán todos los aspectos y condiciones que requieren las plantas para su adecuado desarrollo, como la nutrición, el pH en el agua y la conductividad eléctrica.

- d) **Subsistema de conducción y reciclado de agua.** La conducción del agua a través del sistema se llevó a cabo mediante una serie de tubos de PVC, que permitió la circulación del agua en la primera fase del sistema (salida del tanque de peces y paso por el subsistema de filtrado y llegada al tanque sumidero, circulación del agua por efecto de la gravedad). Para conducir el agua hacia el componente de producción vegetal se utilizó manguera negra de media pulgada con llave, así como para el retorno del agua al estanque de peces. Para el movimiento del agua se utilizó una bomba de agua.
- e) **Equipo utilizado.** se emplearon otros equipos eléctricos para administrar oxígeno al sistema, se usó el generador de oxígeno marca Boyu, modelo 12 y para difundirlo se usaron tres piedras difusoras redondas de 10 cm de diámetro y dos bombas para fuente con un caudal de 150L/h. Para pescar los organismos sin dañar sus escamas se usó una red especial.

4.2.1.1 Materiales, equipo y parámetros de seguimiento del Sistema Experimental Acuapónico

Como se ha mencionado anteriormente, existen en el mercado diversas propuestas de diseño de sistemas acuapónicos; estas propuestas han evolucionado con la incursión de nuevos productos sobre todo derivados del plástico, si bien es cierto que las propuestas recomiendan la construcción de los estanques de peces y camas productivas de vegetales a partir de diseños con base a diversos tipos de geomembranas para este caso se empleó básicamente las recomendación de la FAO, que fue utilizar tanques de IBC de reúso, con una capacidad de 1000 litros.

Para el componente de filtración de agua, sedimentador y biofiltro, se utilizaron tambos de plástico de 200 litros, de reúso y para la conducción del agua se empleó tubería de PVC hidráulico de dos pulgadas. Se consideró a éstos como los más adecuados por sus dimensiones, ya que permite una filtración eficiente de acuerdo con la cantidad de peces constante en el estanque de alrededor de los 80 individuos.

Para el componente de hidroponía, constituido a su vez, por tres tipos de cultivo: 1. Sustrato, 2. Balsa flotante y 3. Tanque sumidero; se usaron también contenedores tipo

IBC, para facilitar la construcción del sistema, ya que solamente se cortaron los contenedores a las medidas necesarias (basándose en el manual y recomendaciones que propuso la FAO en el manual “Producción de alimentos en Acuaponía a pequeña escala”). Y para el apartado hidropónico NFT se usaron tubos de PVC sanitario de cuatro pulgadas y una estructura metálica.

4.2.1.1.1 Parámetros Fisicoquímicos del agua

Con la finalidad de identificar las variaciones y mantener la calidad de funcionamiento del sistema se realizó la toma periódica al agua, de los parámetros que más influyen en la productividad de los peces que son el oxígeno disuelto, temperatura, pH y concentración de Amonio (NH_3), Nitritos (NO_2) y Nitratos (NO_3). El equipo empleado para su medición fueron un potenciómetro para el pH y un termómetro digital, un oxímetro para el oxígeno disuelto, y sustancias reactivas de acuario marca API para medición de la concentración de (NH_3), (NO_2), y Nitratos (NO_3) (Ver Figura 8).

4.2.1.1.2 Biometría de peces

Con la finalidad de identificar la dinámica de crecimiento de los peces y por lo tanto la eficiencia productiva del sistema, se realizaron periódicamente toma de datos relacionados con la biometría de los peces (identificación de peso y talla); así mismo mediante observación directa se identificaron posibles anomalías y presencia de enfermedades de los peces. Para el peso se utilizó una báscula casera y para la talla se empleó un modelo de Ictiómetro (Ver Figura 8, 9 y 10). Se llevó el registro de los datos en una bitácora de campo que posteriormente se pasó a una base de datos en el programa Excel. El peso promedio fue utilizado para cuantificar las raciones alimenticias.



a. Sistema de difusión de oxígeno con piedras difusoras.



b. Compresor de aire Boyu 12 y termómetro.



c. Red especial para la pesca de tilapia.



d. Instrumentos de medición para monitoreo de la calidad del agua del cultivo de peces.



e. Reactivos API.



f. Ictiómetro casero y báscula digital empelada para realizar la biometría.

Figura 8 Materiales y equipos empleados para el seguimiento al Sistema acuapónico.

Fuente: Propia



Figura 9 Preparación de apartados para biometría.
Fuente: Propia.



Figura 10 Medición de peso de tilapia.
Fuente: Propia.

4.2.1.2 Análisis económico

Para conocer el costo de inversión del sistema acuapónico se realizó un análisis económico tomando en cuenta la inversión realizada en la compra de los materiales utilizados para su construcción, el valor de la cosecha a partir de los rendimientos obtenidos y con un precio de venta definido por el mercado. Así se obtuvo la relación beneficio costo de esta actividad. Para llevar a cabo el análisis económico se hizo uso del programa de manejo de datos Excel de Microsoft office.

4.3 Etapa 2: Implementación-Validación en Campo

4.3.1 Presentación y diagnóstico

En reunión se llevó a cabo la presentación del proyecto “Diseño de módulos de Acuaponía”, a los integrantes del grupo “Nuevo Amanecer” y a otros habitantes de San Felipe Coapexco. El objetivo de la reunión fue dar a conocer a los participantes la importancia en el desarrollo de nuevas tecnologías como la Acuaponía a escala rural, y describir de manera conjunta la justificación, pertinencia y posibilidades de establecer este sistema en la comunidad, este, como una alternativa en la producción, consumo y venta de pescado y hortalizas de alta calidad.

Así mismo, se inició el proceso de conocimiento de las principales características del lugar y de los y las participantes denominado diagnóstico inicial, en el cual se empleó un cuestionario semi estructurado que se aplicó a nueve de las familias participantes en la presentación del proyecto, a las cuales se les invitó a participar y aceptaron de forma voluntaria (Anexo 1). Se destaca que esta información se complementó con visitas a los hogares.

4.3.2 Enseñanza aprendizaje

El proceso de enseñanza aprendizaje se desarrolló durante el manejo y establecimiento de los sistemas de Acuaponía, el cual se llevó a cabo bajo el concepto de Capacitación, conceptualizándolo como un proceso de comunicación, donde los conocimientos brindados a los sujetos sociales (en este caso las familias dedicadas a la agricultura familiar) les permitan tener la capacidad de la toma de decisiones (Schutter, 1987). Por tal motivo, este proceso se diseñó para proporcionar la información teórica de los conocimientos generales y principios básicos de la tecnología y también práctica, obtenida la etapa del dominio de la tecnología, donde se compartieron los principios básicos del diseño que conforman un módulo productivo de Acuaponía.

Posteriormente, se continuó con el proceso para desarrollar habilidades y actitudes favorables hacia la adquisición de nuevos y complejos conocimientos sobre la tecnología, por medio de talleres participativos, esto fue muy importante durante el proceso ya que

fundamentó el quehacer para el siguiente proceso de establecimiento, seguimiento y operación de los sistemas acuapónicos.

Se llevaron a cabo cuatro eventos de capacitación, dos de ellos con el fin de dar a conocer los principios teóricos y prácticos de la tecnología de Acuaponía y dos eventos más para difundir datos específicos sobre los beneficios de una adecuada alimentación con la incorporación del pescado a la dieta básica. Así mismo, se realizaron tres talleres participativos que giraron en torno a la construcción de los módulos de Acuaponía.

En este proceso de enseñanza aprendizaje se emplearon algunos métodos participativos, lo que permitió que el diseño y construcción de sistemas de Acuaponía adaptado incorporara sugerencias y recomendaciones de los participantes. Se estableció un proceso que permitió la participación activa de los participantes en el proyecto, desde el diseño, la compra de insumos, construcción y seguimiento del módulo, momentos empleados para la reflexión y explicación de cada componente y la adaptación del proceso de acuerdo a las circunstancias del momento.

Esta serie de capacitaciones y talleres se llevó a cabo durante siete meses; se empleó la observación participante como herramienta para comprender el comportamiento de los sujetos sociales y su respuesta ante la nueva tecnológica de la Acuaponía. El seguimiento se llevó por medio de un diario de campo y toma de fotografía y video.

4.3.3 Reconocimiento de fortalezas y deficiencias de los sistemas e impresión de los participantes

Al finalizar el periodo de los siete meses se realizó un cuestionario estructurado (Anexo 2) a las dos familias con las que se instalaron los sistemas, con la finalidad de identificar las impresiones, conocimientos sobre Acuaponía, así como los aspectos de actitud y cuidados en el manejo de los sistemas acuapónicos establecidos. Información relevante para recomendaciones en futuros trabajos, además de identificar las deficiencias y mejoras que se deben de incorporar a dichos sistemas.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Dominio de la Tecnología

Como se mencionó en la metodología, a partir de la experiencia generada en la comunidad de San Lorenzo Almecatla, Puebla, se decidió establecer un módulo de Acuaponía en las instalaciones del Campus Puebla con la finalidad de tener un mayor control sobre el proceso de diseño, operación y evaluación socioeconómico de este.

A continuación, se describen los resultados obtenidos durante el proceso de diseño del Sistema experimental acuapónico, con sus cinco subsistemas (a) Subsistema de acuacultura. Tanque de peces, b) Subsistema de filtración de agua, c) Subsistema de área de hidroponía para la producción vegetal, d) Subsistema conducción y reciclado de agua y d) Equipo utilizado). Es así que, para el presente trabajo fue determinante identificar puntos críticos del proceso de diseño, para la siguiente etapa de implementación-validación en campo con los productores de la comunidad de San Felipe Coapexco. Es por ello que se determinó que para el diseño y construcción de un sistema acuapónico en la región Valles de Puebla fue necesario la ejecución de las siguientes fases: a) Actividades previas de acondicionamiento, b) Actividades de diseño, operación, seguimiento y c) Análisis económico del sistema establecido.

5.1.1 Fases determinantes para el dominio de la tecnología de Acuaponía en la región Valles de Puebla

5.1.1.1 Actividades previas: Construcción y diseño de un invernadero

El primer paso fue identificar el sitio a utilizar para el establecimiento del módulo. La experiencia anterior indicó que para la producción de tilapia se requiere que el agua del estanque presente temperaturas superiores a los 22°C, condición difícilmente de cumplir a cielo abierto en la Cd. de Puebla. Por lo anterior, se adaptó un pequeño invernadero con techo y paredes de plástico y malla antiáfido, con una superficie de 18 m². Para mantener la temperatura ambiental y disminuir la pérdida de calor del agua del estanque se forraron las paredes de esa área con madera y unicel. En la época fría del año las paredes del invernadero fueron cubiertas con tela tipo agribon con el mismo fin.

5.1.1.2 Actividades de diseño, operación, seguimiento y análisis económico del sistema establecido

Para llevar a cabo el diseño del sistema, se consultó a diferentes fuentes bibliográficas y se adaptaron los principios establecidos en el manual de la FAO así como los descritos por Rob Bob. La primera fase consistió en definir una propuesta general del sistema con sus componentes básicos, realizándose un bosquejo de este, para identificar las necesidades de material y equipo a emplear. La propuesta final se muestra en la Figura 11.

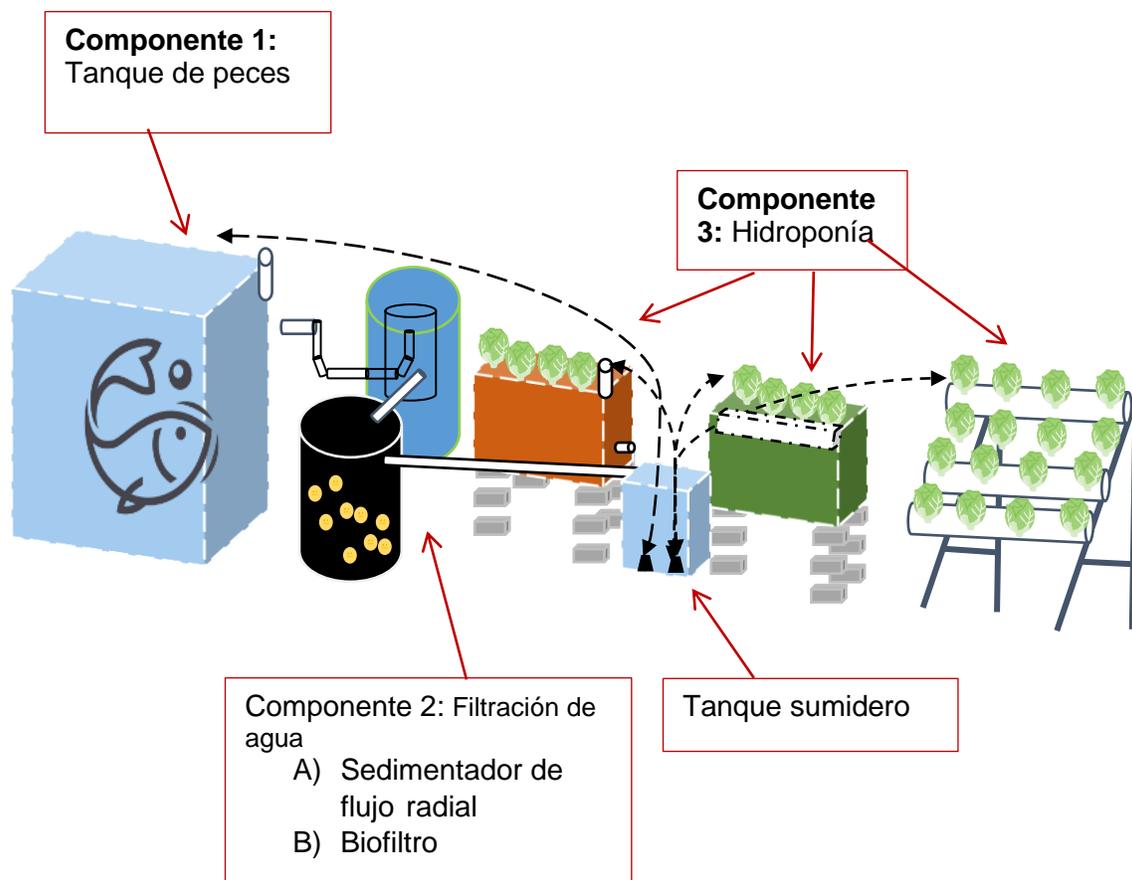


Figura 11 Diagrama del sistema experimental en el colegio de postgraduados, campus Puebla.

Fuente: Propia

Así, el sistema establecido se integró por un estanque de peces (acuicultura) a partir de un tanque IBC de 1000 litros de capacidad de forma cubica. Tanque de reuso que previamente fue debidamente lavado. Se destaca qué, si bien, se recomienda utilizar contenedores de forma cilíndrica, para un mejor movimiento del agua y remoción de sólidos (FAO, 2022), se dio prioridad a este contenedor por su fácil manejo, mayor disponibilidad en el mercado, menor precio con relación a otras opciones como el estanque de geomembrana y adaptarse fácilmente al espacio destinado al sistema.

El componente de filtración del agua, como parte crucial para el sistema ya que aquí es donde se lleva a cabo la separación y transformación de los desechos sólidos a elementos disponibles para las plantas y permitir el retorno del agua al estanque de peces. Para este caso, donde se planteó una densidad moderada de peces (60-80 peces/m³ de agua), con base en las recomendaciones establecidas por James Rackocy se emplearon: 1) Sedimentador de sólidos grandes, conocido como sedimentador de flujo radial, para lo cual se adaptó un tambo de plástico de 200 litros de capacidad y de reuso. Como se ha mencionado anteriormente, éste tiene la finalidad de retirar las excretas “grandes” provenientes del tanque de peces y retirarlos del sistema mediante lavados periódicos del mismo, reduciendo el consumo y recambio de agua. y 2) El biofiltro, componente esencial para la disposición de bacterias que favorecen el desarrollo del ciclo del nitrógeno para transformar el amonio en nitritos y posteriormente a nitratos. Se adaptó un tambo de 200 litros de capacidad de reuso.

Para el componente vegetal (hidroponía), se definió establecer los tres tipos de modalidad que se recomiendan: Sustrato, balsa flotante y película nutritiva, con la finalidad de generar experiencia en su manejo e identificar ventajas y desventajas de cada uno, además de su uso con fines demostrativos. El tamaño y materiales utilizados corresponden a las recomendaciones realizadas por la FAO y adaptadas a las condiciones del sitio. Para el caso de la modalidad de sustrato y balsa flotante se utilizaron recipientes creados a partir de un Tanque IBC de 1000 litros de capacidad y para la modalidad de película nutritiva se utilizaron tubos de PVC en una estructura metálica.

Así mismo para que el sistema funcione requiere de elementos que unen a los componentes básicos del sistema y son: el Sumidero, que es el depósito de agua proveniente del componente hidropónico y por lo tanto es agua propicia para su retorno al estanque de peces. En este caso se utilizó como contenedor un Tanque IBC partido a la mitad. Para el funcionamiento del sistema se establece un sistema de conducción de agua a partir de tubería de PVC, mangueras y llaves. Finalmente se destaca la importancia de los equipos (bombas) de aireación y de recirculación del agua y por lo tanto disponer de energía eléctrica para el funcionamiento del sistema.

A continuación, se realiza una descripción más detallada del sistema:

5.1.2 Descripción del sistema experimental acuapónico

5.1.2.1 Estanque de peces

Se integró por un tanque IBC (Figura 12), el cual se forró con material denominado bajo alfombra y placas de unicel-madera, como se muestra en la Figura 12.b, lo cual fue para conservar el calor del agua alrededor de los 25-30°C ideal para el cultivo de la tilapia. El tanque tiene una capacidad de 1000 litros de agua. Se colocó en la parte más interna del invernadero y sobre blocks y tarimas metálicas para elevarlo del suelo alrededor de 50 cm con la finalidad de aprovechar la gravedad para el movimiento del agua a lo largo del sistema. Así mismo se realizaron los orificios requeridos para la conducción del agua.



a. Instalación del tanque de peces



b. Tanque de peces forrado para controlar mejor la temperatura del agua

Figura 12 Acondicionamiento y adecuación del tanque de peces.
Fuente: Propia

5.1.2.1.1 Especie acuática cultivada: *Oreochromis niloticus*

Dentro de todos los sistemas diseñados en el presente trabajo se emplearon organismos acuáticos correspondientes a la especie *Oreochromis niloticus*, conocida como Tilapia, del Nilo, azul, blanca, roja, y mojarra. Esta especie fue empleada debido a sus características, ya que es una especie conocida por tolerar aguas contaminadas y con bajas concentraciones de oxígeno entre 5 a 3 mg/l, por su tiempo de cultivo que es uno de los más cortos llegando a obtener dos ciclos de producción por año (su ciclo productivo puede variar entre cinco a siete meses en condiciones y parámetros fisicoquímicos adecuados), por tener un alto porcentaje de sobrevivencia de 75-80% en cultivos extensivos y en semintensivos e intensivos de 80-90%, es por ello que en sistemas acuapónicos es una de las especies más empleadas (CONAPESCA, 2017).

Cabe destacar que para trabajos realizados en zonas templadas como el Valle de Puebla, la temperatura ideal para la tilapia es uno de los temas más complicados por acondicionar ya que esta especie fue domesticada e introducida a México y su condición es de áreas tropicales y subtropicales, es por ello, que se hace necesario establecer mecanismos que permitan la temperatura óptima del agua. La temperatura promedio de la Cd. de Puebla a cielo abierto es de alrededor de los 18°C, por lo que, como ya se mencionó anteriormente se hizo indispensable acondicionar un invernadero pequeño y se aisló del ambiente el estanque de peces para conservar la temperatura del agua, la cual fue incrementada hasta llegar en promedio a 25°C con termostatos de corriente eléctrica. En este sentido, se está en la búsqueda de obtener otros sistemas de calefacción con fuentes de energía alternativa como la solar y/o fotovoltaica. Así mismo, se dio prioridad a generar una experiencia en el manejo de la tilapia por ser la especie de mayor aceptación por el consumidor y por lo tanto mayor facilidad de mercado.

5.1.2.2 Filtración: sedimentador de flujo radial y biofiltro

Se emplearon dos tanques de 200 litros de reúso. El sedimentador de flujo radial (Figura 13) permite la sedimentación de las excretas más grandes, clarificando el agua y continúe el flujo para el resto del sistema y al componente siguiente, el biofiltro. Es muy

importante que el sedimentador se instale de la forma en la que se indica en el diagrama, a fin de que realice correctamente su función (Figura 14).



Figura 13 Descripción del flujo de entrada del agua al sedimentador.
Fuente: Propia.

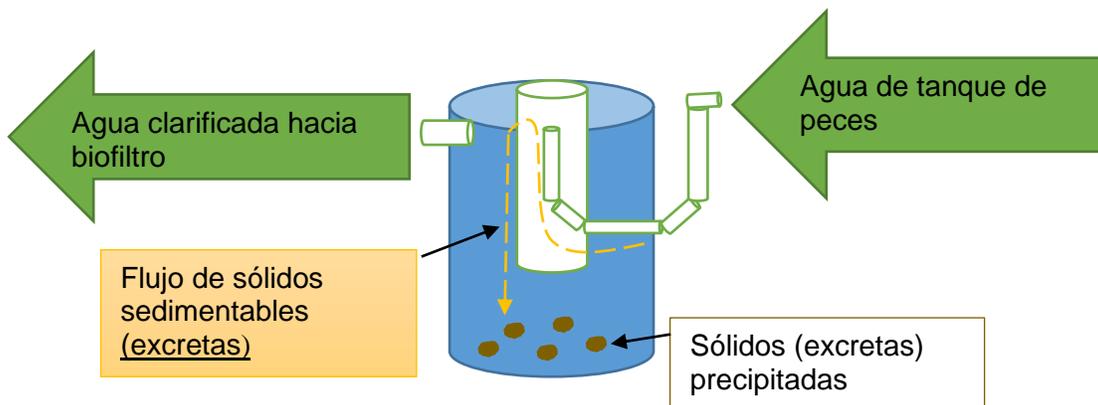


Figura 14 Diagrama del funcionamiento de sedimentador de flujo radial.
Fuente: Propia.

El tanque biofiltro como se observa en la Figura 15, tiene como funcionalidad principal tener el medio físico y las condiciones ideales (oxigenación, superficies rugosas) para que las bacterias del ciclo del nitrógeno colonicen y puedan transformar bioquímicamente el amonio. Se le añadió una canasta con una tela llamada guata como recolector de sólidos más pequeños que se pudieron pasar desde el sedimentador. En la Figura 16 se observa cómo se conectaron el tanque de peces, con sedimentador y el biofiltro, usando el principio de gravedad.



Figura 15 Biofiltro.
Fuente: Propia



a. Sedimentador de flujo radial y biofiltro. Vista lateral.



b. Tanque de peces y filtración de agua. Vista aérea de los componentes de los tanques de filtración.

Figura 16 Vista lateral y aérea del Componente 2.
Fuente: Propia.

5.1.2.3 Producción vegetal: Hidroponía

Al ser un modelo demostrativo y experimental en un primer momento se construyeron los tres tipos de técnicas hidropónicas que existen, con la finalidad de identificar ventajas y desventajas entre cada uno de ellos y brindar recomendaciones.

Las tres técnicas hidropónicas que instalaron son:

5.1.2.3.1 Sustrato

Se utilizó tezontle combinando dos tipos de tamaños en una relación 60-40, en donde el 60% fue de un tamaño de la piedra fue de 0.5x0.5 y el 40% de 1.3x1.3, se realizó esta mezcla para tener un mejor porcentaje, de retención de humedad y un adecuado crecimiento radicular. En este sistema se sembraron 18 lechugas orejonas. En este subsistema se agregaron lombrices rojas californianas para ayudar en el proceso de transformación de nutrientes. La salida de agua de la cama de cultivo fue por medio de un sifón campana y el suministro fue usando una bomba de agua (ver Figura 17 y 21).



a. Cultivo en sustrato con sifón campana



b. Lombriz californiana sembrada en cultivo de sustrato para mejorar la transformación de sólidos

Figura 17 Cultivo en sustrato y sus elementos.
Fuente: Propia.

5.1.2.3.2 Balsa flotante

Se utilizaron placas de unicel de 5 cm de espesor y los orificios para la siembra de 2" y se sembraron 45 lechugas orejonas y 2 plantas de fresa (Figura 18). La distribución del agua fue por medio de la bomba de agua para el suministro y por medio de la gravedad para la salida (ver Figura 21).



Figura 18 Cultivo en balsa flotante.
Fuente: Propia

5.1.2.3.3 Película nutritiva o NTF (por sus siglas en ingles Nutrient Film Technique)

Se utilizaron 6 tubos de 6" y 80 cm de largo, en el modelo vertical el agua corría del tubo de la parte superior al inferior, gracias a la gravedad, tal como lo muestra la Figura 21. En esta técnica se sembraron 34 plantas de fresa variedad camino real (Figura 19).



a. Cultivo de fresa en el sistema NFT del sistema acuapónico



b. Planta de fresa para cultivo en NFT

Figura 19 Cultivo en NFT y sus elementos.
Fuente: Propia.

5.1.2.4 Tanque recolector o sumidero

El ultimo componente del sistema modelo es el tanque recolector o conocido como “sump tank” en otros diseños de acuaponía; en este tanque cae toda el agua del sistema y por medio de dos bombas eléctricas regresan, por un lado, al tanque de peces y otra bomba lo lleva a las tes técnicas de cultivo vegetal. El agua que salió del biofiltro cae sobre una reja de plástico forrada con una tela llamada Tergal francés, ya que tiene con poro muy pequeño y ayuda a que los sólidos disueltos en el agua se detengan y no pasen a los sistemas de producción vegetal y no obstruyan las raíces de las plantas (ver Figura 20).

Agua proveniente del biofiltro

Agua proveniente del sistema NFT



Manguera de las bombas de agua

Figura 20 Caja receptora de sólidos en tanque sumidero.
Fuente: Propia.



a. Manguera suministradora de agua para cultivo en sustrato de tezontle



b. Manguera que suministra agua a balsas flotante



c. Manguera que suministra agua al cultivo en NFT

Figura 21 Suministro de agua al Componente 3.
Fuente: Propia.

Se realizó un seguimiento del Sistema por medio de la realización de biometrías (Cuadro 1) para el caso del cultivo de tilapia, lo que permitió identificar el aumento de peso de los peces, al generar las raciones alimenticias se pudo identificar que a pesar de la variación en el número de peces, la ganancia de peso fue aumentando con respecto al tiempo, ya que el peso promedio máximo que se obtuvo fue de 399 gramos, sin embargo se desarrollaron organismos por arriba del valor, los cuales fueron entre 600 y 800 gramos (Figura 22).

El otro instrumento de seguimiento del sistema fue la toma de parámetros de la calidad del agua permitió orientar el estado de los cultivos tanto hidropónicos como de tilapia, ya que, las condiciones de Amonio, Nitratos y Nitritos, pH, temperatura y conductividad eléctrica son parámetros que influyen para ambos tipos de organismos, por ejemplo, si las concentraciones de Amonio subían a parámetros mayores a 4 mg/l intoxicaba tanto a peces y plantas (Figura 23).

Se identificó que, el sistema trabajando simbióticamente plantas y peces, con la limpieza del sedimentador (200 litros) semanal máximo quincenal, el sistema se mantuvo en perfectas condiciones y con los parámetros estables (de acuerdo con las recomendaciones (Cuadro 2). Las plantas también fueron un elemento clave para la estabilización de la calidad del agua para los peces en cuanto a la concentración de Amonio, ya que éstas crecieron con los nutrientes generados del excremento de los peces, en un periodo de dos meses a un tamaño considerado adecuado y similar a la técnica de suelo directo (Figura 24). Es importante destacar, que es necesario complementar con nutrición foliar de otros micro y macroelementos, ya que posteriormente se presentaron algunas deficiencias nutricionales.

Cuadro 1. Seguimiento del cultivo de tilapia por medio de biometrías.

Fecha	Peso promedio(g)	Biomasa	Núm. De peces
16/10/2021	117	12.68	108
03/11/2021	141	11.28	80
26/11/2021	252	17.45	69
15/12/2021	271	28.76	106
07/01/2022	313	28.51	91
02/03/2022	399	22.36	56

Fuente: Trabajo en campo.



a. Tilapia

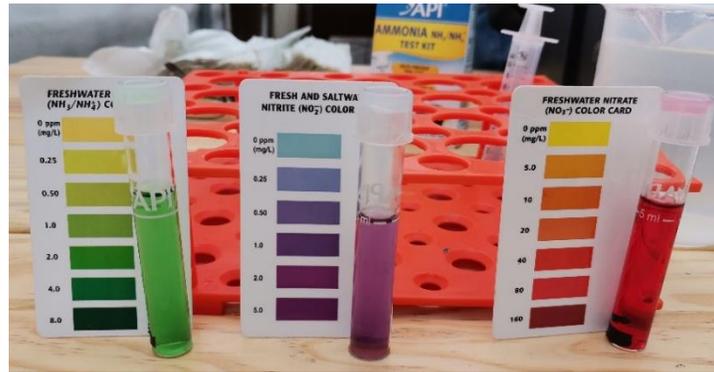


b. Cosecha de tilapia



c. Tilapia de 600 gramos

Figura 22 Crecimiento de tilapia.
Fuente: Propia.



a. Medición de parámetros de concentraciones óptimas, representa un sistema acuapónico estable



b. Medición de datos en concentraciones altas y tóxicas (amonio < 8mg/l), ya se observa por la tonalidad verde oscuro del primer tubo (izq.) por acumulación de sólidos en sedimentador (derecha).

Figura 23 Medición de parámetros de concentración de Amonio, Nitratos, Nitritos.
Fuente: Propia.



a. Lechuga de 39 cm de largo cultivada en dos meses en el sistema acuapónico



b. Hojas de 36 cm de largo



c. Cultivo de dos meses de lechuga en sustrato



d. Planta de fresa con fruto.

Figura 24 Cosecha y crecimiento de cultivo de lechuga orejona y fresa.
Fuente: Propia.

Cuadro 2. Parámetros de calidad del agua para el sistema de Acuaponía

Parámetro	Valor óptimo
Amonio	2-4 mg/l
Nitritos	>0.50 mg/l
Nitratos	>150 mg/l
pH	7-8
Conductividad eléctrica	1.0 mS
Temperatura	25-27°C
Oxígeno disuelto	4mg/L

Fuente: Propia.

5.1.3 Análisis Económico del Sistema Acuapónico Experimental Campus Puebla

A partir de los datos obtenidos para identificar la rentabilidad del sistema experimental, esta primera versión resultó económicamente no viable, ya que su relación beneficio/costo (B/C) es de 0.97. Sin embargo, este mismo dato nos muestra una posibilidad de hacer este sistema rentable, ya que esta versión utilizó materiales y equipo en primera inversión, considerándose que una vez que se haga una producción en serie los costos de inversión inicial disminuirán sustantivamente, además, como es una inversión fija en la medida en que se obtengan mayores ciclos productivos de vegetales, esta relación B/C será más favorable.

Por otro lado, desde una visión social, el beneficio que aporta el sistema es la disponibilidad de carne de calidad, la cual es suficiente para cubrir necesidades alimenticias, además, que implica el ahorro de dinero que se generaría si se comprara otro tipo de carne (ver Cuadro 3 y 4). Se destaca que la carne de pescado es altamente recomendable porque proporciona proteína de alto valor biológico (alrededor del 17%, según el tipo de pescado) además de aminoácidos, tiamina, riboflavina, niacina, vitamina A entre otros y proporciona menos grasas que otro tipo de carne (Latham,2022).

Considerando que en el sistema durante el periodo de estudio se obtuvo una producción total de 86.4kg de carne de pescado y tomando como ejemplo una familia de cuatro integrantes (familia típica en el estudio); este sistema produjo 21.6 kg/persona/año, el cual se convierte diariamente en 50 g al día y contiene 8.5 g de proteína, para cada una de las personas.

Tomando como referencia el porcentaje de proteína recomendado a consumir diariamente por la OMS, FAO, el cual es para mujeres de 0.8g/k y para hombres de 0.85g/k diario; es por ello que, este sistema recomienda que, para que una persona de 50 kilos satisfaga sus 40 gramos de proteína al día, debe de consumir 250 gramos de carne de pescado, lo cual, este sistema abastece durante 36.5 días esta demanda. Cabe destacar que la producción de carne de pescado (86.4 kilos) puede ser dos veces al año, siempre y cuando se mantenga un control y manejo de policultivo.

Cuadro 3. Análisis económico del Sistema acuapónico experimental, Campus Puebla.

CONCEPTO	Valor \$	Cantidad	U
Precio de venta de tilapia	\$ 120.00	86.4	Kg
Precio de venta de fresa	\$ 70.00	90.0	kg
Precio de venta de lechuga	\$ 15.00	252	No
INGRESO			
Ingreso tilapia	\$ 10,368.0		
Ingreso fresa	\$ 6,300.0		
Ingreso lechuga	\$ 3,780.0		
Ingreso total	\$ 20,448.0		
UTILIDAD			
	-\$ 645.28		
Costo de operación	\$ 21,093.3		
B/C	0.97		

Fuente: Propia.

Cuadro 4. Indicadores sociales del Sistema acuapónico experimental, Campus Puebla.

INDICADORES SOCIALES	
Disponibilidad de carne de calidad kg/cosecha	86.4
No. De personas por familia	4
Consumo per cápita anual kg/persona/año	21.6
Ahorro en dinero de la familia	\$ 10,368.0

Fuente: Propia.

5.2 Implementación en Campo

5.2.1 Diagnóstico y presentación

Los resultados del diagnóstico permitieron conocer las características de los integrantes del grupo “Nuevo Amanecer”, por un lado, sus características personales y de su familia, en un segundo apartado su situación de ocupación y actividades productivas y, finalmente, aspectos generales sobre Acuaponía, para identificar el interés en el sistema productivo y el dominio del tema.

Con relación al promedio de edad de las personas que fueron entrevistadas el 44% se encontró en el rango de edad de 50 a 59 años, el 22% en el rango de 40 a 49 años, el siguiente 22% en el rango de 30 y 39 y finalmente el 11% se ubicó en el rango de más de 60 años. Esto nos dice que más del 50% de los entrevistados son personas mayores que se complicaría el esfuerzo físico que está implícito en la construcción y operación de los sistemas acuapónicos. Sin embargo, una vez ya instalados, las actividades y seguimiento se facilita y permite mucho mejores condiciones laborales que en un sistema productivo tradicional a campo abierto.

Por otro lado, fue relevante tomar información sobre las características de las familias y sus ocupaciones, ya que esto nos daría la oportunidad de conocer el tiempo libre y que disponen y la capacidad de mano de obra, factores importantes en el diseño y construcción de los módulos de Acuaponía en sus traspatios. El 33% de los casos, las familias son pequeñas, de 1 a 2 integrantes, por lo que nos indica que la mano de obra es poca para deslindar actividades extras como serían los sistemas acuapónicos; el siguiente 33% son familias medianas de 3 a 5 integrantes; otro 33% está constituido por familias grandes de 5 o más, sin embargo, sus integrantes son personas adultas mayores o niños, lo que implica que podrían realizar actividades relacionadas con la Acuaponía como el desarrollo de habilidades y nuevo aprendizaje y también recibir los beneficios de la alimentación con los productos del sistema.

En cuanto a las características de su hogar el 100% de las familias posee casa propia, y cuenta con servicios de luz y agua potable, 88% dispone de internet también y solo

una familia no cuenta con este servicio. Esto nos permite ver que las condiciones son favorables para el establecimiento de los sistemas acuapónicos.

Identificar el aspecto económico es importante ya que eso influye en las características de las familias y las posibilidades que existen para la inversión de nuevas actividades productivas como lo son los sistemas acuapónicos. En la mayoría de los casos, con el 88% la actividad principal es la producción agrícola y/o pecuaria, solo una familia se dedica a actividades de alfarería y venta de otros productos no agrícolas; y el 22% tienen un empleo asalariado. El ingreso económico del 55% de los entrevistados se encuentra en un rango entre \$500 a \$999 semanalmente, el 22% es de \$999 a \$1,499, el 11% es de \$2,500 a \$4,999 y el siguiente 11% recibe un ingreso semanal menor de \$500.

Por otro lado, es importante la descripción de los traspatios, ya que retomando el concepto de la agricultura familiar de transición, donde la producción de autoconsumo es lo principal, el traspatio es donde se genera una gran diversidad para cumplir con este objetivo; en el caso del presente estudio, se encontró que el tamaño de los traspatios de las familias que se dedican a las agrícolas cuenta con espacios de aproximadamente en promedio de 2,000m², lo que deja disponible para las actividades productivas, en donde se realizan actividades de alfarería, producción de hortalizas, algunos frutales (aguacate, limón, naranja, ciruela, jinicuil, café, zarza), también la producción de pequeñas especies como aves, conejos y borregos, y también la producción de abonos orgánicos (ver Cuadro 5).

Para identificar la viabilidad para el diseño y la construcción de los sistemas acuapónicos, también fue importante conocer los precedentes que existían con el proyecto de Fomento de Seguridad Alimentaria del Colegio de Postgraduados, ya que genera un precedente de los conocimientos para la producción de hortalizas agroecológicamente y la reflexión de la importancia por producir alimentos de forma sana y que cuide los recursos naturales. Esto ayudo a planificar y diseñar la serie de capacitaciones; es por ello por lo que se identificó que, a las personas entrevistadas, el 55% si ha recibido las capacitaciones proporcionadas del proyecto y el 44% no. El

66% afirmó que conocía poco el proceso para producir hortalizas y el 44% lo incorpora y consume en su dieta.

Debido a que los sistemas acuapónicos incorporaran la producción de pescado, se preguntó que tanto conocían la piscicultura, se encontró que el 55% no tenía nada de conocimiento y su consumo es muy poco; y el 66% está dispuesto para incorporarlo en su dieta. Y se consideró viable ya que el 100% aseguró que, si les interesaba aprender y producir por medio de un Sistema acuapónico, es por ello por lo que se consideró como un elemento viable para poner en marcha los sistemas acuapónicos, sin embargo cuando se realizaron las capacitaciones solo cinco familias asistieron, lo cual generó la idea que otros elementos como el aspecto económico, el tiempo y la mano de obra son más importantes a pesar de que exista interés o un gran gusto por dicha tecnología, lo cual, afirma las teorías sobre la agricultura familiar de transición, donde lo principal es el autoconsumo y en segundo lugar la venta , por lo que existe poca oportunidad para invertir en nuevos sistemas, es por ello que solo las familias que no tienen hijos pequeños y cuentan con áreas productivas propias fueron las que decidieron aceptar el riesgo y la incertidumbre de nuevas tecnologías como los Sistemas acuapónicos.

Esto se afirma, ya que los sistemas son complejos y aún no están difundidos, ya que el 88% no habían escuchado hablar sobre la Acuaponía y el 100% indicó que no tenían ningún conocimiento sustancioso sobre este tipo de tecnología, por lo que influyó en la aceptación del proyecto y las familias que aceptaron participar en la construcción y operación además cuentan con parcelas productivas donde se siembra maíz, frijol y amaranto principalmente, lo cual genera la diversidad de productos y se comercializan en los mercados locales, lo cual genera que haya solvencia económica para invertir y apostar a nuevas tecnologías.

Cuadro 5. Diversidad productiva de los entrevistados.

	Edad	Sexo	Grado de estudios	Actividad principal	Diversidad productiva traspatio
Magda Villalba España	55	M	Primaria	Agricultura	MEDIA
Brígido Díaz España	56	H	Secundaria	Agricultura, alfarería	ALTA
Lazara España Ariza	58	M	Primaria	Agricultura y alfarería	MEDIA
Angélica Villalba Villalba	48	M	Licenciatura	Ama de casa, oficio	BAJA
Aselene Rodríguez España	32	M	Secundaria	Ama de casa y Agricultura	MEDIA
Heliodora Díaz Sotero	76	M	Primaria	Agricultura	BAJA
Adriana Pastrana Pérez	39	M	Secundaria	Empleo asalariado, agricultura	MEDIA
Lorenza Padilla Villalba	57	M	Primaria	Alfarería y oficios	BAJA
Eusebia España Ariza	47	M	Secundaria	Agricultura	ALTA

Fuente: Trabajo en campo.

5.2.2 Enseñanza aprendizaje

De acuerdo con el diagnóstico que se realizó se diseñaron las capacitaciones (Figura 25 y 26), las cuales, se dividieron en dos tipos de contenidos; las primeras dos capacitaciones y los tres talleres participativos para difundir los principios técnicos de la Acuaponía y se combinó con los beneficios del consumo de pescado en la dieta, con la aportación de ácidos grasos, también se compartieron las porciones recomendadas consumir por niños y adultos.



Figura 25 Capacitación sobre la Acuaponía y la soberanía alimentaria.
Fuente: Propia.



Figura 26 Capacitación sobre componentes de Acuaponía.
Fuente: Propia.

También se ofreció una capacitación en el Colegio de Postgraduados impartido por el Dr. Juan Reta, (ver Figura 27) donde compartió información sobre la anatomía y fisiología de *Oreochromis niloticus*, para que las personas aprendieran el manejo piscícola, con la finalidad de tener buenas prácticas y cuidados para tener una mejor producción.

También las familias visitaron el Sistema Experimental de Acuaponía en el Centro Demostrativo y de Investigación en tecnologías Apropriadas en Agricultura de Traspatio del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, para que las personas conocieran los componentes del Sistema y se familiarizaran con la tecnología.



a. Demostración y explicación del Sistema experimental Acuapónico del Campus Puebla



b. Práctica de disección de tilapia por parte del Dr. Juan Reta



c. Práctica de manejo de tilapia

Figura 27 Taller presencial en Campus Puebla.
Fuente: Propia.

Durante esta etapa, asistieron las cinco familias, mostrando interés por aprender el sistema; posteriormente en la segunda etapa cuando se llevaron a cabo los talleres participativos para la construcción de los Sistemas acuapónicos, su participación fue intermitente, donde solamente las dos familias, Villalba España y la familia Díaz Marín, accedieron a probar la tecnología de Acuaponía (Figura 28).

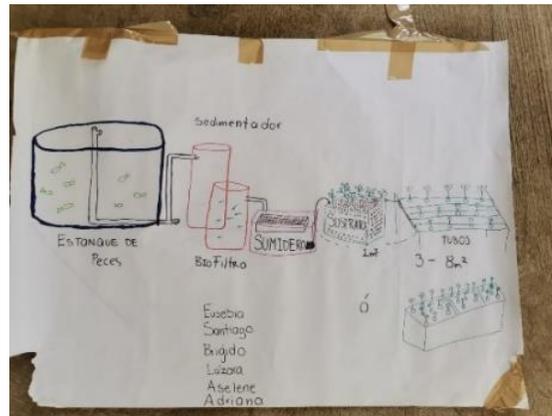


Figura 28 Propuesta del diseño generado en el taller participativo con los integrantes del grupo.
Fuente: Propia

5.2.2.1 Diseño y construcción del módulo familia Villalba España

La familia Villalba España está conformada por cinco integrantes; el abuelo, el señor Crisólogo Villalba, los padres de familia, la señora Eusebia y el señor Santiago (los responsables de las actividades agrícolas, de la venta de productos y todas las actividades económicas-productivas) y los dos hijos, Alejandro y Marycruz, quienes les ayudan en todas las actividades productivas, como el cuidado de conejos, aves, el riego de plantas entre otras, al mismo tiempo que cursan sus estudios.

El tamaño del traspatio de la familia es de 3,900m², en donde se realizan las actividades productivas como la producción de frutales, como aguacate, limón, zarza, guayaba, jinicuiles, entre otros, también se siembran hortalizas en el huerto familiar biointensivo y algunas plantas medicinales; en la parte pecuaria se producen borregos, aves y conejos. También se guarda y almacenan las semillas de maíz y frijol, se resguarda materiales y equipo.

Debido a que existe suficiente espacio durante el proceso para construir el sistema acuapónico, el primer paso consistió en elegir el sitio, se propuso tomar la idea del Sistema de Zonas de la Permacultura, en donde se establece que son una estrategia y método que ayuda en la organización tanto de las parcelas productivas pero también en la organización social y conceptual, ayudando a manejar la incertidumbre y lograr la integración del sistema, repitiendo los patrones de la naturaleza (Holgrem D., 2002).

Es así que en esta propuesta de diseño se establece que existen siete zonas, la zona Cero es el centro principal y donde la(s) persona(s) desarrollan las actividades principales que requieren más atención y cuidado, como la casa habitación y donde se pasan más tiempo; la zona 1 y 2 las actividades semi intensivas como el cuidado de pequeñas especies, los huertos; la zona 3 y 4 son aquellas actividades que requieren mucho menos atención o mantenimiento, aquellos cultivos menos demandantes, como algunos pastos, plantas nativas, animales de trabajo etc.; y finalmente la zona 5 es aquella zona “salvaje” la cual requiere un cuidado mínimo, como lo podrían ser áreas naturales cerca a la parcelas (Hemenway, 2017).

Es así que para elegir el sitio de ubicación del Sistema Acuapónico se analizó que al ser una nueva tecnología y en la cual no se ha tenido experiencia, requiere de mucha atención, por lo que se decidió con los productores que la mejor zona debería de ser la 1 y 2, para darle el mantenimiento suficiente y necesario. Este proceso se repitió para los dos sistemas, por lo que se identificó físicamente los espacios más convenientes para la instalación en los cuales: 1) estuviera dentro de la zona 1 y 2 y 2) no le perjudicara en sus actividades cotidianas (Figura 29).

El espacio que se le asignó en el caso de la familia Villalba España fue de seis metros de largo por tres metros de ancho Se colocó dentro de la estructura de un micro túnel. Se añadió para la administración del agua un compresor de aire para pecera con doble salida, con una potencia de 3W (Figura 30 y 31).



a. Colocación del tanque de los peces, con inclinación para una mejor salida de agua



b. Construcción del tanque sumidero y cultivo de sustrato



c. Sistema completo

Figura 29 Finalización de la primera etapa de construcción del sistema acuapónico familia Villalba.

Fuente: Propia.



Figura 30 Bajo alfombra para mantener la temperatura del agua.

Fuente: Propia.



Figura 31 Uso de materiales reciclados que se encontraban dentro del traspatio de la familia.

Fuente: Propia.

5.2.2.2 Diseño y construcción del módulo familia Díaz Marín

La Familia Díaz Marín está integrada por los padres (campesinos); y los ingresos económicos han provenido de la agricultura de maíz, frijol, aguacate, limón, sorgo entre otros; también de los ingresos de las remesas y oficios como la alfarería y la herrería. El espacio del traspatio es de 1,500 m², donde se realizan actividades productivas como el manejo de frutales, aves y la alfarería con la producción de comales de barro.

Para la identificación del sitio para la ubicación del sistema acuapónico se tomaron los elementos del Sistema de diseño de las zonas, como se mencionó anteriormente. Se colocó en un espacio de cinco metros de largo por dos metros de ancho.

A este sistema se le añadió para administrar el oxígeno disuelto en el agua un compresor de aire de la marca Boyu número 3.

5.2.2.3 Características de los dos Sistemas acuapónicos

Se instalaron los sistemas acuapónicos tomando como base el Sistema experimental del Colegio de Postgraduados, pero con algunas modificaciones para contextualizarlo a los materiales de la zona y las necesidades y gusto de las personas (Figura 33 y 35).

Para los componentes del sistema, en el primer componente, el estanque de peces se tomó como estanque también un tanque IBC, debido a que en costos era el más

accesible; para el componente de filtración de agua, para el sedimentador de sólidos una caja de plástico y el biofiltro un tanque de plástico de 200 litros, y para el componente Hidropónico se instalaron de dos tipos, de sustrato y de tipo película flotante (Figura 33).

El sustrato que se empleó para los dos módulos fue un tipo de roca conocida por los lugareños como Jaltete; el proceso para emplearla fue cernir y lavar, hasta conseguir un tamaño de aproximadamente dos centímetros de grosor.

Para las bases de soporte de la cama productiva de sustrato se emplearon blocks de construcción y pedazos de troncos y algunos materiales reciclados como estructuras de metal con las que ya contaban los productores; en ambos casos, las habilidades de los dos productores como el oficio de herraría facilitó la instalación y construcción (Figura 34).



Figura 32 Construcción de la primera etapa del sistema de la familia Díaz Marín.

Fuente: Propia.



Figura 33 Familia Díaz Marín construyendo el cultivo NFT.
Fuente: Propia.



Figura 34 Proceso de construcción del sistema de la familia Díaz Marín.
Fuente: Propia.



a. Caja sedimentador



b. Sedimentador de sólidos y biofiltros



c. Biofiltro sistema familia Díaz Marín, en donde se colocaron taparrosas de refresco para generar el biofilm de bacterias fijadoras de nitrógeno

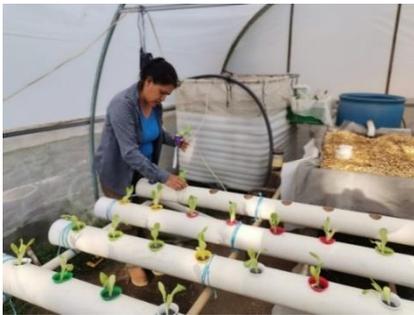


d. Tanque sumidero y cultivo en sustrato finalizado del sistema de la familia Díaz Marín.

Figura 35 Componentes de los Sistemas acuapónicos implementados en campo.
Fuente: Propia.

5.2.2.4 Siembra de hortalizas

La selección de la siembra en el componente hidropónico se tomó de acuerdo con dos criterios, 1) plantas de baja intensidad, o sea de hojas como lechuga y apio, y 2) Plantas que fueran de interés por las mujeres campesinas para el consumo familiar, algunas de las seleccionadas fueron plantas medicinales como albahaca, menta, tomillo y orégano (Figura 36 y 37).



a. Siembra de lechugas en cultivo NFT por la señora Eusebia



b. Siembra de plantas aromáticas por parte de la señora Reina



c. Siembra de plántula en cultivo NFT



d. Preparación de las tiras de algodón para la siembra en NFT



e. Trasplante de plántulas

Figura 36 Siembra de plántula en los sistemas.
Fuente: Propia.



Figura 37 Crecimiento de cultivo en sustrato de lechugas y aromáticas Familia Díaz Marín.

Fuente: Propia.

Para la siembra de hortalizas del sistema de película flotante se utilizaron vasos de plástico, esponja, tiras de tela de algodón (Figura 38). Para el sistema de sustrato se sembraron directamente.



a. Vasos y esponjas para la siembra de NFT



b. Plántula de lechuga



c. Uso de enraizado de sábila

Figura 38 Procedimiento de siembra de plántula de lechuga para NFT que se les enseñó a los participantes.

Fuente: Propia.

5.2.2.5 Siembra de tilapia

Se sembraron para los dos sistemas organismos de la especie *Oreochromis niloticus*, sin hormonas, los cuales fueron traído del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz (Figura 40 y 41).

Esta especie fue elegida, debido a que es una especie que, de acuerdo con algunos autores, tolera muy bien las condiciones de alta toxicidad o agua estancada y también bajas concentraciones de Oxígeno disuelto (>3), lo cual brinda oportunidad para sistemas de baja intensidad, rústicos o rurales, ya que evita que sean sistemas altamente demandantes de atención y cuidados.

Para el sistema acuapónico de la Familia Villalba, se sembraron 76 organismos y para el de la Familia Díaz Marín 82 (Figura 39 y 42).



a. Familia sembrando peces al tanque IBC



b. Señora Eusebia aprendiendo a manejar a los peces

Figura 39 Familia Villalba manejando los primeros organismos para sembrar en los tanques.

Fuente: Propia.



Figura 40 Biometría inicial en la siembra de tilapia.
Fuente: Propia.



Figura 41 Siembra de tilapia en el sistema de familia Villalba.
Fuente: Propia.



Figura 42 Siembra de tilapia en el sistema de la familia Díaz Marín.
Fuente: Propia.

5.2.2.6 Seguimiento de los módulos establecidos

A los dos sistemas se les dio un seguimiento de siete meses (Cuadro 6), sin embargo, siguieron funcionando posteriormente. Durante este periodo de seguimiento, se monitorearon los parámetros de la calidad del agua, tales como el oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, temperatura, amonio, nitritos y nitratos (Figura 43 y 46); también se realizaron dos biometrías para el seguimiento y monitoreo del crecimiento de los peces y plantas (Figura 48 y 50).

Durante este periodo se pudo observar que un reto a enfrentar para el establecimiento de un modelo de Sistemas acuapónicos en un medio rural, es el hecho de que la tilapia es originaria de clima tropical, para su adecuado crecimiento requiere de aguas cálidas, entre los 25 a 35°C (Morales, 2015), y debido a las condiciones geográficas y a la altitud del valle en donde se encuentra la comunidad de San Felipe Coapexco, su temperatura oscila aproximadamente entre los 24°C (INEGI, 2020), por lo que se considera un elemento indispensable a considerar el calentamiento del agua y que sea por medio de sistemas a base de energía solar, ya que a pesar de que se pueden ocupar termostatos eléctricos, el uso de energía solar evitaría el aumento en los costos del Sistema Acuapónico por el sobreuso de energía eléctrica.

En estos sistemas instalados, no se ocupó ningún sistema de calefacción del agua ya que se echaron a andar en la temporada de primavera y verano, sin embargo, una recomendación para cualquier propuesta de este tipo es que se debe de considerar antes la temperatura de la región para elegir a los organismos que se desean manejar y si es el caso, usar alternativas solares para la calefacción del agua.

También es importante mencionar que la cantidad de organismos de tilapia fueron disminuyendo, debido a que se consumieron para alimentación de la familia y algunos de estos murieron. La mortandad se generó debido a que en la comunidad el suministro de energía eléctrica era irregular, dejando sin el sistema de aireación durante horas o incluso toda la noche. Es por ello por lo que se debe de considerar otra alternativa como reservorio de energía para el funcionamiento del equipo eléctrico que son las bombas y los aireadores.

En el componente de la filtración del agua, el sedimentador de sólidos que se implementó requirió de una limpieza por lo menos cada 3er día para que fuera óptimo el funcionamiento de todo el sistema y las excretas no se excedieran y subieran los niveles de amonio en el agua. Por esta misma razón se necesitaba de atención, por lo que se pudo apreciar que el sistema de la Familia Díaz Marín se mantuvo en mejor estado, debido a que la limpieza fue constante y existió al menos una atención diaria; en cambio el de la familia Villalba se acumulaba más los desechos sólidos, perjudicando la parte hidropónica, ya que en el tanque de biofiltro se concentraban y se pasaban a las raíces de las plantas. Las múltiples actividades de los productores y las otras ocupaciones influyeron en la atención de los sistemas, ya que las actividades en la siembra de cultivos en las parcelas, al tener mayor superficie, como fue el caso de la familia Villalba requirió el tiempo de atención fue menor al sistema; es por ello que se recomienda que los diseños de los sistemas acuapónicos sean mucho más eficientes en cuanto a la limpieza de tanques, y en alerta de parámetros, los cuales incluso sean a un nivel de automatización, para facilitar su manejo.

Por otro lado, en el componente Hidropónico se presentaron algunos de los retos a enfrentar han sido la necesidad del complemento nutricional (ver Figura 45), ya que, debido a la prontitud del sistema, aun no se ha generado la maduración necesaria del biofiltro y el establecimiento de las bacterias nitrificantes que puedan transformar el amonio en componentes para las plantas. Es por ello que se presentaron algunas deficiencias nutricionales.

Cuadro 6. Datos de seguimiento de los dos sistemas implementados en campo.

SISTEMA 1 FAMILIA VILLALBA AL FINALIZAR LOS OCHO MESES		SISTEMA 2 FAMILIA DÍAZ AL FINALIZAR LOS OCHO MESES	
Número de peces iniciales	76	Numero de peces iniciales	82
Número de peces	43	Número de peces	48
Densidad vegetal	3m ²	Densidad vegetal	3m ²
Ciclos vegetales	2	Ciclos vegetales	2

Fuente: Trabajo de campo.



a. Sistema Familia 1 de la Familia Villalba completo



b. Toma de datos de calidad del agua NH₃, NO₂, NO₃

Figura 43 Inicio de toma de datos del sistema acuapónico de la familia Villalba.
Fuente: Propia.

También como parte de aprovechar el espacio del sistema, la familia Villalba colocó varetas para injertos, los cuales brotaron con éxito, lo cual causó satisfacción en los participantes (Figura 44).



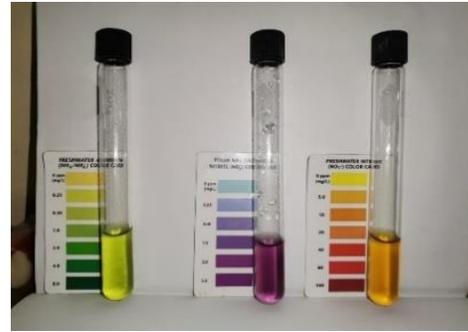
Figura 44 Varetas de limón dentro del sistema acuapónico de la familia Villalba.
Fuente: Propia.



Figura 45 Presencia de deficiencias nutricionales
Fuente: Propia



a. Inicio de monitoreo de sistema acuapónico



b. Toma de parámetros de la calidad del agua NH_3 , NO_2 , NO_3 , del sistema de la familia Díaz Marín

Figura 46 Seguimiento de tomas de datos, lo cual indicó estabilidad en el sistema y un buen funcionamiento

Fuente: Propia.

Como parte del seguimiento y cuidado, los participantes practicaron y aprendieron algunas técnicas sobre el cuidado y cultivo hidropónico, tales como la siembra y trasplante de plántula, la identificación de plagas, deficiencias nutricionales entre otras (Figura 45, 47 y 48).



Figura 47 Revisión del correcto funcionamiento de bomba y compresor de aire del sistema.

Fuente: Propia.



Figura 48 Cultivo de apio en sistema acuapónico familia Díaz Marín.
Fuente: Propia.

Con respecto al cuidado de los peces también se explicaron a los participantes algunas de las técnicas para el manejo básico en la acuicultura, las cuales fueron las biometrías y la medición de los parámetros del agua (Figura 49).



a. Medición de peso de tilapia.



b. Cosecha de tilapia del Sistema Acuapónico de la familia Díaz Marín, tras el periodo de seguimiento.



c. Toma de datos por señora Eusebia España.

Figura 49 Biometrías realizadas al cultivo de tilapia con los participantes.
Fuente: Propia.



Figura 50 Producción vegetal del sistema acuapónico familia Villalba.
Fuente: Propia

5.3 Reconocimiento de Fortalezas y Deficiencias de los Sistemas e Impresión de los Participantes

Durante todo el seguimiento que se realizó se pudo apreciar por medio de las pláticas reflexivas que se tuvieron, que el sistema al inició se consideró complejo y complicado, sin embargo, causó interés y era atractivo por el hecho de poder tener pescado para la alimentación, también porque a su consideración no demanda de mucho tiempo y atención, ya que el tiempo máximo que le dedican al sistema fue de 1 hora al día, y los cuidados básicos era alimentar a los peces, revisar las bombas que funcionaran correctamente y limpiar el sedimentador y ocasionalmente o cuando se iba la luz en la comunidad realizaban los cambios de agua al tanque de agua. Otro hecho que se identificó es que todos los participantes mencionaron que la fuente de electricidad si se convierte indispensable que sea eficiente y permanente, siendo está una desventaja por los contratiempos que se llegaron a presentar.

En cuanto al dominio del conocimiento, de acuerdo a los resultados de las entrevistas realizadas, se identificó que todos los participantes podían identificar correctamente y estaban de acuerdo con la definición sobre qué es la tecnología de Acuaponía, sin embargo, 60% de ellos no reconocen a profundidad aspectos específicos como el papel

de las bacterias nitrificantes, por lo que para trabajos futuros se recomienda ampliar y profundizar en los procesos de capacitación sobre este aspecto, ya que se vuelve indispensable para el correcto funcionamiento del sistema. En cuanto a los aspectos de la calidad del agua y parámetros físico-químicos como oxígeno disuelto, pH, temperatura, concentración de amonio, todos identificaron que eran básicos para el mantenimiento del sistema.

En cuanto aspectos de actitud, solo una persona se consideró experta, el resto no, sin embargo, si se atreviesen a enseñar o capacitar a otras personas, ya que los vecinos y familiares siempre han mostrado curiosidad e interés por conocer el sistema, el 60% lo considera una tecnología fácil y el 100% continuaría aprendiendo y llevándolo en el traspatio.

Por otro lado, también fue importante identificar qué elementos son los relevantes para mantener un sistema acuapónicos; en donde se identificó que para los participantes, el 80% mencionó que el costo de instalación y operación, ni la disponibilidad de materiales y alimento para peces (todo se encuentra fácilmente cercano a la región) no lo hacía poco viable, el 60% consideró que la necesidad de conocimientos específicos y técnicos si lo hace poco viable y se confirman con que el 80% mencionó que la presencia del acompañamiento de un técnico experto en el tema si lo convierte en un aspecto poco viable; sin embargo todos mencionaron que con más capacitaciones podrían aprender y ellos mantener y operar los sistemas.

Por otro lado, los participantes también mostraron interés de continuar con el sistema, debido a que además de consumir el pescado y las hortalizas, también generaron algunos ingresos al vender las hortalizas en los mercados locales a los que asisten cada semana, lo cual generó satisfacción por continuar manteniendo el sistema acuapónico (Figura 51).



Figura 51 Cosecha de lechuga, señor Brígido
Fuente: Propia.

5.3.1 Degustación de platillos

Uno de los elementos de más interés que se ha manifestado por parte de los participantes ha sido el consumo de la tilapia. Posterior al tiempo de seguimiento de los sistemas, los organismos alcanzaron un peso suficiente para su consumo, el cual fue alrededor de los 250 gramos, por lo que, se tomó la decisión de prepararlos en los distintos platillos que son conocidos y del gusto tradicional por los participantes; estos fueron cocinados de fritos y al vapor en hojas de tamal. Se acompañaron con ensalada de lechuga, cosechada del sistema acuapónico. Las reacciones de los participantes fueron de mucho gusto y satisfacción al reconocer el esfuerzo realizado al cuidar los peces y por la calidad de estos (ver Figura 52 y 53).

En el caso de la familia Villalba, si bien, no todos los miembros participaron en el cuidado del sistema por distintas circunstancias como el interés, la edad o la complejidad del sistema, tal como fue el caso del señor Crisólogo, él quien es una persona que pertenece al grupo de personas de la tercera edad, mostró un gran interés por el consumo de estos alimentos; esto es muy importante a destacar, ya que si estos alimentos se vuelven más accesibles, por medio de los sistemas acuapónicos, para las personas de las tercera edad resulta importante para su calidad de vida, ya que la nutrición para esa etapa de la vida es determinante para manejar y llevar algunas enfermedades comunes que se presentan, como la diabetes y la hipertensión (Latham, 2022).



a. Tilapia lista para su cocción



b. Señora Eusebia limpiando tilapia para su posterior consumo



c. Platillo listo



d. Degustación



e. Señor Crisológo consumiendo platillo

Figura 52 Familia Villalba degustando platillos de tilapia.
Fuente: Propia.



a. Preparación del platillo conocido por los participantes como "tamal de mojarra"



b. Cosecha de lechugas del sistema acuapónico para su consumo



c. Preparación del platillo



d. Degustación del platillo

Figura 53 Degustación de platillo por parte de la familia Díaz Marín.
Fuente: Propia.

5.4 Propuesta de un Modelo de Sistema Acuapónico Familiar

Al diseñar y construir 3 sistemas acuapónicos en diferentes contextos, permitió adquirir elementos básicos que permiten proponer un 4to diseño y un modelo teórico de un Sistema Acuapónico.

Algunas de las recomendaciones son las siguientes:

- Tanque de peces redondo para mejorar la limpieza y salida de los sólidos.
- Sedimentador de sólidos de un volumen de 200 litros (Figura 54), para que se vuelva más eficiente la limpieza, ya que en el caso y para familias con distintas ocupaciones como lo es la familia Villalba España, realizar la limpieza de esta forma no fue eficiente, lo cual generaba que se acumularan los sólidos y

aumentaran los niveles de amonio (NH_3) en el agua, perjudicando peces y plantas. También se deben de revisar muy bien los niveles y las caídas de agua por gravedad en el diseño del sistema, ya que, si se llegan a acumular por mucho tiempo el agua, está se estanca y genera el crecimiento de algas (Figura 55), lo cual obstruye el crecimiento de las raíces de forma correcta, y que un exceso de algas consume oxígeno del agua que es para el adecuado crecimiento de los peces.

- Por otro lado, la densidad de siembra de hortalizas de al menos 5m^2 con una densidad de peces de 45 por metro cubico de agua.



Figura 54 Acumulación de sólidos en el tanque sedimentador.
Fuente: Propia.



Figura 55 Crecimiento de algas en el biofiltro, originado por el estancamiento del agua.
Fuente: Propia.

VI CONCLUSIONES

A manera de conclusión, los sistemas acuapónicos como una propuesta de tecnología como parte del proceso de la innovación social del modelo de mandala del traspatio, promovió la seguridad alimentaria en el aspecto de alimento accesible, ya que ofreció hortalizas que fueron cultivadas libre de químicos y fueron destinadas para el autoconsumo. Se destaca que debe de ser acompañado con capacitaciones, platicas y talleres que fortalezcan la consciencia sobre la importancia del consumo de estos alimentos para el beneficio en la salud, ya que, a pesar de tenerlos cerca, si no existe una cultura de consumo estos no tendrán relevancia ni significancia dentro de los traspatios.

Por otro lado, la difusión de la tecnología de Acuaponia en contextos rurales y para la agricultura familiar por ser un sistema complejo, requiere de esfuerzos significativos en cuanto al acompañamiento y enseñanza del sistema, ya que en la etapa de la implementación en campo se identificó que al inicio de las capacitaciones existía un desconocimiento total sobre el funcionamiento del sistema, e incluso dudas, sin embargo, la actitud en los participantes cambió mientras se llevaron a cabo los talleres y se explicaba el funcionamiento de cada componente en la práctica de la construcción y seguimiento durante los siete meses, se justificaron poco a poco cada acción por hacer, como los recambios de agua, la limpieza de los filtros, y la importancia de la aireación del agua para el mantenimiento y sobrevivencia de los peces; y de esta forma durante los últimos meses de este periodo, los participantes actuaron de forma autónoma para la resolución de problemas, gracias a la información con la que ya contaban previamente, un ejemplo de ello fue que en los días que se presentaron los cortes de energía, ellos realizaban recambios de agua y alternaban el uso del compresor de aire y la bomba de agua.

Por otro lado los sistemas propuestos y diseñados en el presente trabajo permitieron ser de mediana intensidad y no implicó que se dedicara mucho tiempo para su atención y cuidado, lo cual, con las modificaciones ya mencionadas, son una propuesta atractiva para los agricultores familiares por mantener dentro de la integralidad del traspatio, ya que se incorporó este subsistema nuevo, como uno más, al cual le daban atención de

alimentar y vigilar, al mismo nivel que lo hacen con las aves o a las otras pequeñas especies. Para los agricultores es muy atractivo contar con peces de forma accesible y también estéticamente les agrada verlo integrado a sus espacios productivos.

Como parte de un proceso de innovación tecnológica y social, el diseño de los sistemas acuapónicos permitió, por un lado, socialmente, el desarrollo de habilidades, adquisición de nuevo conocimiento por parte de los usuarios, conocimiento de una alternativa productiva novedosa con potencial de crecimiento y rentable a largo plazo.

Por otro lado, para la empresa familiar dedicada a la agricultura familiar, comenzó dentro de un proceso de innovación por su novedad y el impacto que genera; ya que reconociendo que este tipo de innovación se miden a partir de largos periodos de tiempo, esta tecnología implicó una nueva alternativa que fue reconocida con ventajas, oportunidades para los usuarios y con el interés por mantener en el tiempo, para seguir aprendiendo.

Y, por último, de acuerdo con los resultados arrojados en el análisis económico el sistema resultó poco viable, por ser un sistema experimental y además se requiere la incorporación de un mayor número de ciclos de producción vegetal.

Sin embargo, desde una visión social, se considera un sistema viable, por la cantidad disponible de proteína animal (carne de pescado) para la familia. Ya que, teniendo como ejemplo a una persona con 50 kilos, con este sistema disponible en su traspatio, contaría con 250 gramos de carne de pescado durante 36.5 días, para satisfacer su demanda de proteína al día, que son 40 g al día.

El sistema acuapónico integrado al modelo “mandala del traspatio”, proporciona proteína, minerales, y vitaminas que complementan bastante bien lo ya suministrado por otros elementos como los huevos y carne de aves, la carne de conejo y otros sistemas pecuarios, lo cual beneficiaría con una dieta saludable a las personas dedicadas a la agricultura familiar, además de que representa ahorro de dinero, ya que esté, estaría destinado en la compra de carne de otro tipo.

VII LITERATURA CITADA

- Aguirre, L., (2016) Metodología de trabajo para la promoción del traspatio, En Álvarez F., Aguirre L., Paredes J., & Salcido B., *Lecciones sobre agricultura familiar y su contribución a la seguridad alimentaria* (65 pp.), DR. Colegio de Postgraduados
- Aguirre-Álvarez, L.; Paredes-Sánchez, J.A.; Álvarez-Gaxiola, J.F. & Salcido-Ramos, B.A. (2013) Fomento a la Seguridad Alimentaria mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas y de organización para el manejo integrado del traspatio en la comunidad de San Felipe Cuapexco, Puebla, México. Documento elaborado para el III Premio a la innovación para la Productividad Agroalimentaria “Miguel Alemán Valdés” edición 2013.
- Álvarez F., Paredes J., Salcido B., Aguirre L. (2012). Informe Técnico “Diseño y Prueba de la Metodología de Seguimiento para el programa Fortalecimiento de la Producción de Traspatio de Familias Pobres para Garantizar su Seguridad Alimentaria para promover la suficiencia Alimentaria de Comunidades de Alta y Muy Alta Marginación”. Colegio de Postgraduados, Línea prioritaria de investigación 10 Desarrollo Rural Sustentable.
- Álvarez, F., (2016), La Unidad de Producción Familiar y el conocimiento campesino, En Álvarez F., Aguirre L., Paredes J., & Salcido B., *Lecciones sobre agricultura familiar y su contribución a la seguridad alimentaria* (47 pp.). Colegio de Postgraduados
- Arnold Cathalifaud, Marcelo; Osorio, F. (1998). Introduccion a los conceptos basicos de la teoria general de sistemas. *Cinta de Moebio*, 3, 12. <https://www.redalyc.org/pdf/101/10100306.pdf>
- Backyard Aquaponics. (2011). THE IBC OF Aquaponics. 187.
- Caldas, A., Castillo, I., Prado, S., Rosales, L., & Vargas, L. (2019). 8. 9 Diseño y construcción de sistemas acuapónicos a pequeña escala para familias de la región Piura. *Pirhua*, 205. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4285>
- Camacho, E. C. (2017). “Green Revolution” Agriculture and land, contributions and controversies. *Revista de La Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA*, 3(3), 844–859. <http://www.ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/174>
- Campesina, L. V. (2021). 1996: Declaración de Roma de La Vía Campesina que define por primera vez la Soberanía Alimentaria. *La Vía Campesina*.
- CEDRSSA. (2013). Reporte del CEDRSSA Encuesta Nacional Agropecuaria 2012. 1–24.
- CEFP. (2018). Medición de la pobreza multidimensional y Gasto en ramo 33 Indicadores a nivel municipal, 2010 y 2015 Puebla. *Camara De Diputados Lxiii Legislatura*, 42.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política del Desarrollo Social. (2020). *Informe de*

pobreza y evaluación 2020. CONEVAL.

- Cortés Torres, I. (2016). La crisis alimentaria Mundial: causas y perspectivas para su entendimiento. *Razón y Palabra*, 20(94), 36–621.
- Dávila-Rodríguez, L. P. (2020). Apropiación social del conocimiento científico y tecnológico. Un legado de sentidos. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 12(22), 127–147. <https://doi.org/10.22430/21457778.1522>
- De la Cuesta, M. (2020). La economía circular: una opción inteligente. *Economistas Sin Fronteras*, 37, 42. <https://ecosfron.org/wp-content/uploads/2020/03/Dossieres-EsF-37-La-Economía-Circular.pdf>
- Dreamstime. (2022) Salida del sol en los campos del arroz en china. [fotografía]. <https://es.dreamstime.com/salida-del-sol-en-los-campos-arroz-china-image103550292>
- Echeverría, J. (n.d.). Sociedades de conocimientos y valores : el proyecto de León Olivé Sociedades de conhecimentos e valores : o projeto de León Olivé Societies of Knowledge and Values : León Olivé ' s Project. 13.
- Echeverría, J. (2008). El manual de Oslo y la innovación social. *Arbor*, 732, 609–618.
- FAO. (2011). Seguridad Alimentaria y Nutricional Conceptos Básicos. In *Componente de Coordinación Regional Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) en Centroamérica*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv18dvt8h>
- FAO. (2015). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2014. In *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2014*. <https://doi.org/10.4060/cb4476es>
- FAO. (2016). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2016. In *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2016*. <https://doi.org/10.4060/ca6030es>
- FAO. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala. Cultivo integral de peces y plantas. *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala, Cultivo integral de peces y plantas*. <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Food Agriculture Organization. (2020). De La Pesca Y La Acuicultura. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 3, Issues 1–2). <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2012.02.007%0Ahttp://www.fao.org/publications/es>
- Hernández, J., Tirado, P., & Ariza, A. (2016). El concepto de innovación social: ámbitos, definiciones y alcances teóricos. *CIRIEC-España. Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 88, 165–199. <https://www.redalyc.org/html/174/17449696006/>
- Hemenway T., (2017), La ciudad de la permacultura, Ediciones Kraicron S.L

- Holgrem, D., (2002), *Permacultura Principios y Senderos más allá de la Sustentabilidad*, Ediciones Kraicron S.L,
- IICA. (2016). La agricultura familiar en las Américas : Principios y conceptos que guían la cooperación técnica del IICA. *Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola [IICA]*, 37.
- INEGI. (2020). México en cifras (Localidades), San Felipe Coapexco, Cohuecan, Puebla, (210330003). [archivo excel].
- Jiménez, A. (2016). Acuaponía: Herramienta educativa para el aprendizaje transversal de las ciencias. *Ciencia y Desarrollo*, 16(2), 83. <https://doi.org/10.21503/cyd.v16i2.1113>
- Latham. (2022). Nutrición humana en el mundo en desarrollo, *Colección FAO: Alimentación y nutrición*. 29
- Merino, F. G., López, N. O., Téllez, L. T., Páez, R. S., Marcial, E. S., & Ortiz, J. S. (2015). Aquaponics : Sustainable and Potential Alternative. *Revista Agroproductividad*, 8(3), 6.
- Morales D. A. (2015) *Historia de la Acuicultura en México. Peces, crustáceos y moluscos*. (1ra. ed.). AGT Editor, S. A.
- Muñoz Máximo, T., Ocampo Fletes, I., & Parra Inzunza, F. (2019). Caracterización socioeconómica de las unidades de producción familiar e importancia del cultivo de chíá (*Salvia hispanica* L.) en los municipios de Atzitzihuacán y Tochimilco, Puebla, México. *Acta Universitaria*, 29, 1–14. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2494>
- Negocios Agropecuarios. (2019). *Hidroponía*. Editorial Trillas.
- OECD/Eurostat. (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. In *The Measurement of Scientific; Technological and Innovation Activities*. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264304604-en.pdf?expires=1635188344&id=id&accname=guest&checksum=A0EFE082698559115B1F21499AE294A1%0Ahttps://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- OECD. (2005). Directrices Para La Recogida E Interpretación De Información Relativa a Innovación. In *Eurostat*. <http://www.itq.edu.mx/convocatorias/manualdeoslo.pdf>
- Paulo, F. (n.d.). Pedagogía del Oprimido (Vol. 98, Issue 2). <https://doi.org/10.3163/1536-5050.98.2.021>
- Rakocy, J., Masser, M., & Losordo, T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics- integrating fish and plant culture. *SRAC Publication - Southern Regional Aquaculture Center*, 454, 16.
- Rob Bob (Rob Bob's Aquaponics & Backyard Farm). (2020). Radial Flow Settler for Aquaponics Systems How RFS work How to Size Your RFS. [video].

<https://www.youtube.com/watch?v=sBCC9tMsleY&t=640s>

Salcedo, S., & Guzman, L. (2014). Agricultura familiar en America Latina y el Caribe.

Schutter, A. de. (1987). Metodo y proceso de la Investigación Participativa en la Capacitación Rural (Quinta). CREFAL.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Social. (2018) Las chinampas, historia, cultura y seguridad alimentaria. Gobierno de México. [fotografía]
<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/las-chinampas-historia-cultura-y-seguridad-alimentaria>

Pimentel,S. (2010). Diagnóstico Integral Participativo de la Microrregión de Cuapexco. Comisión de diagnóstico de la línea prioritaria de investigación 4: agronegocios, agroecoturismo y arquitectura del paisaje. Colegio de Postgraduados.

Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant Pathogens and Control Strategies in Aquaponics. In *Aquaponics Food Production Systems*.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_14

Westley, F., & Antadze, N. (2018). Making a difference: Strategies for scaling social innovation for greater impact. *Leading-Edge Research in Public Sector Innovation: Structure, Dynamics, Values and Outcomes*, 15(2), 289–310.

ANEXOS

ANEXO 1.

Cuestionario semiestructurado: “Diagnóstico y caracterización sociocultural de las familias del grupo “Nuevo Amanecer”

INFORMACIÓN PERSONAL DEL PRODUCTOR

1. Nombre del productor/ra:
2. Edad:
3. Número de integrantes de la familia:
4. ¿Qué lugar ocupa en la familia?
5. ¿Cuántas personas participan en la producción agrícola?

INFORMACIÓN DEL HOGAR

6. Su vivienda es: Propia Alquilada
7. Cuenta con servicios básicos de:
 - Luz (¿Cuánto es el pago al mes?)
 - Agua(origen)
 - Internet
8. ¿Cuántos metros 2 cuenta el terreno donde vive?
9. ¿De cuántos metros cuadrados es su casa habitación?
10. ¿Con cuántos metros cuadrados libres cuenta para otras actividades? ¿Cuáles son?
11. ¿Cuenta con parcelas? ¿cuantas? ¿Cuál es su área?

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y LABORALES

12. ¿Cuáles son sus actividades productivas principales?
13. ¿Tiene algún empleo asalariado?
14. Su ingreso semanal es de:
 - Superior a \$5000
 - Entre \$2500-4999
 - Entre \$1500-2499
 - Entre \$1000-1499
 - Entre 500-9999
 - Menos de 500
15. ¿Qué actividades productivas de traspatio realiza? *explicar qué es traspatio
16. ¿Identifica algún problema dentro de la producción de traspatio, si es el caso?

INFORMACIÓN SOBRE PRINCIPIOS BÁSICOS DE ACUAPONIA Y CUIDADO DE RECURSOS NATURALES

17. ¿Ha recibido alguna capacitación por parte de la producción de hortalizas y manejo de traspatio del Colegio de Postgraduados?

Si

No

Cuestionario semiestructurado: “Diagnóstico y caracterización sociocultural de las familias del grupo “Nuevo Amanecer” (continuación)

18. ¿Conoce de la producción de hortalizas?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
19. ¿Qué tan frecuente consume hortalizas en su alimentación?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
20. ¿Qué tan dispuesto/a está en incorporarlas en su consumo?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
21. ¿Conoce de la producción de peces (tilapia)?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
22. ¿Qué tan frecuente consume pescado en su alimentación?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
23. ¿Qué tan dispuesto está en incorporarlo en su consumo?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
24. ¿Le gustaría aprender a cultivar bajo un mismo sistema peces y hortalizas (hoja y fruto)?
- | | |
|----|----|
| Si | No |
|----|----|
25. ¿Ha escuchado hablar sobre el termino de Acuaponia?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
26. ¿Qué tanto domina el tema de Acuaponia?
- | | | | | |
|------|----------|------|------------|-------|
| Nada | Muy poco | Poco | Suficiente | Mucho |
|------|----------|------|------------|-------|
27. En caso de establecer un sistema de acuaponia, ¿Cómo sería el abastecimiento de agua?
28. ¿Qué piensa sobre la perdida de suelos?
29. ¿Qué piensa sobre el uso del agua?
30. ¿Qué piensa sobre el uso de agroquímicos en la agricultura?

ANEXO 2.

Preguntas de percepción sobre el sistema de Acuaponía

Comparando la primera vez que llegó el proyecto al día de hoy como se considera:

Preguntas de conocimiento del sistema

1. Acuaponía es una forma de producción de alimentos que une la producción de peces (piscicultura) con la producción de vegetales (hidroponía).				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
2. En la acuaponía un elemento muy importante para su éxito es contar con un área de bacterias nitrificantes				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
3. Entre los factores ambientales más importantes para el éxito en la producción de acuaponia, destacan: disponibilidad de oxígeno en el agua, el ph del agua, la temperatura del agua.				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
4. Un elemento crítico en el sistema de acuaponia es la disponibilidad de una fuente eficiente y permanente de electricidad.				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
5. La presencia de un sistema de sedimentación y de biofiltro son esenciales en la Acuaponia.				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5

Preguntas de percepción sobre el sistema de Acuaponía (continuación)

6. Considera que un sistema de acuaponia hace un uso más eficiente de los recursos como el espacio (tierra) y del agua.				
Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	No lo sabe	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5
7. Considera que este sistema productivo proporciona alimentos (peces y vegetales como hortalizas) de la más alta calidad en cuanto a inocuidad y nutrición.				
Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	No lo sabe	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5
DE ACTITUD				
1.- USTED SE CONSIDERA EXPERTO EN EL MANEJO DE UN SISTEMA ACUAPONICO				
Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	No lo sabe	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5
2.- USTED CONSIDERA QUE UN SISTEMA DE ACUAPONIA ES LA MEJOR FORMA PARA LA PRODUCCIÓN DE PECES				
Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	No lo sabe	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5
3.- USTED CONSIDERA QUE UN SISTEMA DE ACUAPONIA ES LA MEJOR FORMA PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS MEDICINALES Y HORTALIZAS				
Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	No lo sabe	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5
4.- USTED CONSIDERA QUE ES UNA ALTERNATIVA FACIL DE LLEVAR A CABO EN SU TRASPATIO				
Totalmente en desacuerdo	Desacuerdo	No lo sabe	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	2	3	4	5

Preguntas de percepción sobre el sistema de Acuaponía (continuación)

5.- EL MANEJO INTEGRAL DEL SISTEMA ACUAPONICO ES COMPLEJO Y DIFICIL EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
6.- ESTA USTED DISPUESTO(A) A LLEVARLO A CABO EN SU TRASPATIO				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
7.- CREE USTED QUE OTRAS PERSONAS ESTARÍAN DISPUESTAS A LLEVAR A CABO UN SISTEMA DE ACUAPONIA.				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
8.- ESTA USTED DISPUESTO A ENSEÑAR A OTRAS PERSONAS ESTA TECNOLOGÍA				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
9.-PARA LLEVAR A CABO UN SISTEMA ACUAPONICO EN SU TRASPATIO:				
9A.- EL COSTO DE INSTALACIÓN Y DE OPERACIÓN LO HACE POCO VIABLE				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
9B. LA NECESIDAD DE CONOCIMIENTOS ESPECIALES LO HACE POCO VIABLE				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5

Preguntas de percepción sobre el sistema de Acuaponía (continuación)

9C. LA DISPONIBILIDAD DE MATERIALES DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO LO HACE POCO VIABLE				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
9D. LA DISPONIBILIDAD DE ALIMENTO PARA LOS PECES LO HACE POCO VIABLE				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5
9E- LA PRESENCIA DE UN TÉCNICO O ASESOR LO HACE POCO VIABLE				
Totalmente en desacuerdo 1	Desacuerdo 2	No lo sabe 3	De acuerdo 4	Totalmente de acuerdo 5

ANEXO 3.

Descripción Sistema experimental Sistema Acuapónico Experimental, Campus Puebla

	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	TOTAL
TANQUE DE PECES	tanque IBC 1m3	1500	1	1500
	tarimas unicel-madera de 1x1m		4	0
	metro bajo alfombra	30	4	120
	76 cm tubo 2" PVC hidráulico	91.2	1	91.2
	conexión tipo T 2" PVC hidráulico	47	1	47
	30 cm de tubo 2" PVC hidráulico	36	1	36
	adaptador hembra 2" PVC hidráulico	25	1	25
	termostatos (200 W)	144	2	288
	termostatos (300 W)	240	2	480
	termómetro digital	800	1	800
	piedras difusoras redondas	67	2	134
	aireador boyu 12	4950	1	4950
SEDIMENTADOR	tanque 200 L	350	1	350
	adaptador macho 2" PVC hidráulico	24	1	24
	codos 45° PVC hidráulico	42	4	168
	llave 2 " PVC hidráulico	27	1	27
	adaptador macho 2" PVC hidráulico	24	1	24
	adaptador hembra 2" PVC hidráulico	25	1	25

Descripción Sistema experimental Sistema Acuapónico Experimental, Campus Puebla
(continuación)

	15 cm tubo 2" PVC hidráulico	18	1	18
	codos 45° 2" PVC hidráulico	42	2	84
	25 cm tubo 2" PVC hidráulico	30	1	30
	40 cm tubo de 6" PVC sanitario	18	1	18
	tapa de tubo de 6" PVC sanitario	92	1	92
	adaptador hembra 2" PVC hidráulico	25	1	25
	adaptador macho 2" PVC hidráulico	24	1	24
	block 40x10x20	8	8	64
BIOFILTRO	tanque 200 L	350	1	350
	adaptador macho 2" PVC hidráulico	24	1	24
	adaptador hembra 2" PVC hidráulico	25	1	25
	8 cm tubo 2" PVC hidráulico	9.6	1	9.6
	adaptador macho 2" PVC hidráulico	24	1	24
	adaptador hembra 2" PVC hidráulico	25	1	25
	adaptador macho 2" PVC hidráulico	24	1	24
	20 cm tubo perforado 2 " PVC hidráulico	24	1	24
	tapa 2" PVC hidráulico	19	1	19
	64 cm tubo PVC hidráulico	76	1	76
	tapa 2" PVC hidráulico	19	1	19

Descripción Sistema experimental Sistema Acuapónico Experimental, Campus Puebla
(continuación)

	conexión tipo T 2" PVC hidráulico	47	1	47
	6 cm de tubo (conexión) 2 " PVC hidráulico	7.2	1	7.2
	adaptador macho 2" PVC hidráulico	24	1	24
	adaptador hembra 2" PVC hidráulico	25	1	25
	6 cm de tubo (conexión) 2 " PVC hidráulico	7.2	1	7.2
	codo 90° de 2" PVC hidráulico	38	2	76
	90 cm tubo de 2" PVC hidráulico	108	1	108
	1.85 m tubo de 2" PVC hidráulico	222	1	222
	40 cm tubo de 2" PVC hidráulico	48	1	48
HIDROPONIA SUSTRATO	maceta de 1.20 x 1x .30 m de tanque de IBC	500	1	500
	Sifón campana		1	35
	1 m2 tezontle	100	1	100
	block 40x10x20	8	16	128
HIDROPONIA Balsa FLOTANTE	maceta de 1.20 x 1x .30 m de tanque de IBC	500	1	500
	placas de unicel 1 x .50x .5 m	50	2	100
	tubos de cm 6" PVC sanitario (base)	16	4	64
	vasos de plástico*	1.5	55	82.5

Descripción Sistema experimental Sistema Acuapónico Experimental, Campus Puebla
(continuación)

	esponja	0.5	55	27.5
	hilo de algodón	0.5	55	27.5
	Sifón campana		1	0
	adoquines 40x10x20	8	16	128
HIDROPONIA NFT	90 cm de tubo sanitario de cm 6" PVC sanitarios	42	6	252
	codos 90° 110 mm PVC sanitario	19	6	114
	niples 110 mm PVC sanitario	17	6	102
	reducción bushin de 110 mm a 50 mm sanitario	19	6	114
	codos 90° 50 mm sanitario	7	7	49
	tubos de 7 cm de 50 mm	2	6	12
	2.20 m de tubo de 50mm sanitario	63	1	63
	40 cm tubo de 50mm sanitario	11	1	11
	Estructura de metal			0
	1.05 m de tubo 2 " PVC hidráulico	126	1	126
	vasos de plástico*	1.5	30	45
	SUMIDERO	maceta de 1.20 x 1x .60 m de tanque de IBC	500	1
bomba sumergible de 1500 L/H 2.5 m		772	1	772

Descripción Sistema experimental Sistema Acuapónico Experimental, Campus Puebla
(continuación)

	bomba sumergible de 2000L/H 40 W 110-120 V	729	1	729
	8 metros manguera verde 2"	22	8	176
	8 metros manguera negra 2 "	7	8	56
	llaves de riego 2 "	55	3	165
	reja de plástico	90	1	90
	2 metros tela malla de filtro	35	2	70
			TOTAL	15731.7

ANEXO 4.

Descripción del sistema acuapónico implementado en campo

SISTEMA ACUAPÓNICO SEÑORA EUSEBIA Y SANTIAGO				
	Concepto	Precio unitario	Cantidad	Precio total
TANQUE DE PECES	tanque IBC 1000 l	1100	1	1100
	4 metro bajo alfombra	30	4	120
	100 cm de tubo sanitario PVC 2"	30	1	30
	codo sanitario 90° PVC 2"	20	2	40
	bomba de aire	300	1	300
	piedras difusoras de aire	67	2	134
SEDIMENT ADOR	caja verde reciclada	90	1	90
	30 cm tubo sanitario PVC 2"	10	1	10
	reja negra	30	1	30
	tela filtradora	50	1	50
BIOFILTR O	tanque 200 l azul	360	1	360
	100 cm de tubo sanitario PVC 2"	30	1	30
	tapas de frescos			0

Descripción del sistema acuapónico implementado en campo (continuación)

	1m manguera corrugada	10	1	10
	codo sanitario PVC 2" 90°	20	1	20
	25 cm tubo sanitario PVC 2"	7	1	7
CAMA DE SUSTRATO	cajón de madera reciclado 115x80x22	100	1	100
	bases de troncos 55 cm	0	1	0
	plástico blanco (invernadero) 2.10mx2m	15	4.2	63
	1 m2 de jaltete	100	1	100
SISTEMA NFT	tubo sanitario 6" sanitario 2m	81	4	324
	vasos desechables	0.4	50	20
	1m manguera negra 1/4 " para tubos NFT	15	1	15
	100 cm de tubo sanitario PVC 1 1/2"	25	2	50
	Coples tubo sanitario PVC 1 1/2"	5	3	15
	tapas tubo sanitario PVC 1 1/2"	7	4	28
	codo sanitario PVC 1 1/2" 90°	7.5	1	7.5
	tapas sanitarias 6"	22.5	4	90
	Coples sanitarios 6"	17	4	68
	manguera negra flexible 2 " (16 mm) 5m	5	7	35
SUMIDERO	caja reciclada de madera 1.20x80x40	150	1	150
	plástico blanco (invernadero) 4.5x4.5m2	15	20.25	303.75
	bomba 1200 l/hora	772	1	772
SIFON CAMPANA	codo 90° 1 " CPVC	10.5	1	10.5
	adaptador macho 1" CPVC	10.5	1	10.5
	adaptador hembra 1" CPVC	12	1	12
	8cm tubo 1" CPVC	2.4	1	2.4
	reducción bushing 1" a 1 1/4" CPVC	9.5	1	9.5
	campana: 20cm tubo 3" sanitario PVC	16	1	16
	Cople 3" sanitario PVC	28	1	28
	tapa 3 " sanitario PVC	26	1	26
	protector: 17cm 4 " sanitario PVC	15	1	15
EXTRAS	sellador de poliuretano Duratan	149	1	149

Descripción del sistema acuapónico implementado en campo (continuación)

	alambre quemado	20	1	20
	pegamento CPVC	98	1	98
	rafia	20	1	20
			TOTAL	4889.15

ANEXO 5.

Descripción del sistema acuapónico implementado en campo

SISTEMA ACUAPÓNICO SEÑORA REYNA Y SEÑOR BRIGIDO				
	Concepto	Precio unitario	Cantidad	Precio total
TANQUE DE PECES	tanque IBC 1200 l	1300	1	1300
	4 metro bajo alfombra	30	4	120
	100 cm de tubo sanitario PVC 2"	30	1	30
	codo sanitario PVC 2" 90°	20	2	40
	boyu 5		1	0
	pedras difusoras de aire	67	2	134
SEDIMENTADOR	caja verde reciclada	90	1	90
	30 cm tubo sanitario PVC 2"	10	1	10
	reja negra	30	1	30
	tela filtradora	50	1	50
BIOFILTRO	tanque 200 l azul	360	1	360
	100 cm de tubo sanitario PVC 2"	30	1	30
	tapas de refresco			0
	manguera corrugada	10	1	10
	codo sanitario PVC 2"	20	1	20
	25 cm tubo sanitario PVC 2"	7	1	7
CAMA DE SUSTRATO	30 cm de cama IBC	0	1	0
	tabiques 40x10x20	8	12	96
	tiras de madera reciclada 5 cm	8	10	80
	1 m2 de jaltete	100	1	100
SISTEMA NFT	tubo sanitario 6" sanitario 2 metros	81	5	405
	vasos desechables	0.4	50	20
	1m manguera negra 1/4 " para tubos NFT	15	1	15
	100 cm de tubo sanitario PVC 1 1/2"	25	2	50
	coples tubo sanitario PVC 1 1/2"	5	3	15
	tapas tubo sanitario PVC 1 1/2"	7	4	28

Descripción del sistema acuapónico implementado en campo (continuación)

	codo sanitario PVC 1 1/2"	7.5	1	7.5
	estructuras de metal soporte 1 metro altura	100	2	200
	manguera negra flexible 2 " (16 mm)	5	7	35
SUMIDERO	caja reciclada de madera 1.20x80x40	150	1	150
	plástico blanco (invernadero) 4.5x4.5m2	15	20.25	303.75
	4.5x4.5m2 bajo alfombra	30	20.25	607.5
	bomba 1200 l/hora	772	1	772
SIFON CAMPANA	codo 90° 1 " CPVC	10.5	1	10.5
	adaptador macho 1" CPVC	10.5	1	10.5
	adaptador hembra 1" CPVC	12	1	12
	10 cm tubo 1 " CPVC	2.4	1	2.4
	ampliación 1" a 1 1/4 " CPVC	9.5	1	9.5
	campana:16 cm tubo 3" sanitario PVC	16	1	16
	cofle 3" sanitario PVC	28	1	28
	tapa 3 " sanitario PVC	26	1	26
	protector: 22 cm 4 " sanitario PVC	15	1	15
EXTRAS	sellador de poliuretano "Duratan"	149	1	149
	alambre quemado	20	1	20
	pegamento CPVC	98	1	98
	rafia	20	1	20
			TOTAL	5532.65