



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**

**ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE ECONOMÍA**

**TESIS**

**LA INCLUSIÓN DE SISTEMAS ACUAPONICOS DE PEQUEÑA ESCALA EN BAJA  
CALIFORNIA SUR: UNA ALTERNATIVA PARA LA AGRICULTURA DE  
AUTOCONSUMO**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS SOCIALES CON ORIENTACIÓN EN GLOBALIZACIÓN**

**P R E S E N T A**

**JULIO CÉSAR PERALTA GONZÁLEZ**

**DIRECTORA:**

**DRA. ANTONINA IVANOVA BONCHEVA**

**LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2019**





**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**

**ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE ECONOMÍA**

**TESIS**

**LA INCLUSIÓN DE SISTEMAS ACUAPONICOS DE PEQUEÑA ESCALA EN BAJA  
CALIFORNIA SUR: UNA ALTERNATIVA PARA LA AGRICULTURA DE  
AUTOCONSUMO**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS SOCIALES CON ORIENTACIÓN EN GLOBALIZACIÓN**

**P R E S E N T A**

**JULIO CÉSAR PERALTA GONZÁLEZ**

**DIRECTORA:**

**DRA. ANTONINA IVANOVA BONCHEVA**

**LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2019**





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
Área de Conocimiento de Ciencias Sociales y Humanidad  
Departamento Académico de Economía  
**POSGRADO EN CIENCIAS SOCIALES:**  
**DESARROLLO SUSTENTABLE Y GLOBALIZACIÓN**



Fecha: 17/09/19\_\_

**DR. PLACIDO ROBERTO CRUZ CHAVEZ**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE ECONOMÍA**  
**P R E S E N T E**

Los abajo firmantes, Miembros del Comité Académico Asesor del trabajo de tesis completamente terminado, titulado:

LA INCLUSIÓN DE SISTEMAS ACUAPONICOS DE PEQUEÑA ESCALA EN BAJA CALIFORNIA SUR: UNA ALTERNATIVA PARA LA AGRICULTURA DE AUTOCONSUMO

que presentó:

\_\_\_\_\_ Julio César Peralta González \_\_\_\_\_

Otorgamos nuestro voto **aprobatorio** y consideramos que dicho trabajo está listo para su **defensa**, a fin de obtener el grado de **Maestro en Ciencias Sociales**.

Comité Académico Asesor:

\_\_\_\_\_  
Dra. Antonina Ivanova Boncheva  
Nombre del Director

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio Martínez de la Torre  
Nombre del Asesor

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
DR. Alfredo Sergio Bermúdez Contreras  
Nombre del Asesor



c.c.p Expediente del alumno (DESyGLO)

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Con todo mi cariño y mi amor para mi amada esposa quien siempre estuvo ahí pacientemente para apoyarme, aconsejarme y ayudarme en todo cuanto necesité. Gracias por creer en mí y hacer de un momento sencillo algo especial.

A mis padres, mi hermano, los padres de mi esposa, familiares y todos aquellos compañeros y amigos que aportaron su granito de arena acompañándome en mis investigaciones y aportándome un poco de su conocimiento y buena disposición para sacar este proyecto adelante y motivarme para que pudiera perseguir mis metas y sueños. Sin ustedes, esto jamás hubiera sido posible.

A José y Tere, por recordarme que hay una vida en campo y enseñarme que los recursos naturales son en realidad los pilares que sostienen la vida en el planeta. Por personas como ustedes todo el trabajo vale la pena.

A mis profesores y compañeros de posgrado, quienes pacientemente dedicaron un poco de su tiempo para enseñarme e impulsarme a realizar esta tesis de la mejor manera posible y me otorgaron distintos puntos de vista que son aplicables no solo en mi investigación, sino en la vida cotidiana. Gracias, porque he aprendido mucho de ustedes.

Finalmente, quiero dedicar esta tesis a todo aquel que como yo, pretenda dejar el mundo mejor que como lo encontró y que desee aplicar estos conocimientos en beneficio de la sociedad.

## Estructuración de la tesis

INTRODUCCIÓN .....	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
JUSTIFICACIÓN .....	10
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	11
HIPÓTESIS.....	12
OBJETIVOS.....	12
Objetivo general.....	12
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	13
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE .....	24
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
MARCO CONTEXTUAL.....	28
COMPONENTES FÍSICOS DEL SISTEMA .....	29
COMPONENTES BIOLÓGICOS DEL SISTEMA .....	29
CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO ACUAPONICO DE PEQUEÑA ESCALA DESTINADO AL AUTOCONSUMO .....	31
REALIZACIÓN DE UNA GUÍA DE OBSERVACIÓN.....	32
REALIZACIÓN DE GRUPOS FOCALES.....	33
REALIZACIÓN DE ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO .....	33
ESTUDIO DE MERCADO.....	33
ESTUDIO TÉCNICO.....	33
ESTUDIO FINANCIERO.....	33
UTILIZACIÓN DEL MARCO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES INCORPORANDO INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD (MESMIS) .....	34
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
COLOCACIÓN DEL SISTEMA ACUAPONICO DE PEQUEÑA ESCALA.....	35
COSECHA .....	37
GUÍA DE OBSERVACIÓN .....	37
GRUPOS FOCALES.....	39
ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.....	41
Producto .....	41

Determinación del tamaño del sistema acuapónico.....	42
Localización.....	43
Clima.....	44
Descripción del proceso de producción.....	44
ANÁLISIS DE COSTOS.....	45
Inversión inicial.....	45
Costos de funcionamiento.....	48
Gastos generales y de aporte de capital.....	49
Depreciación anual y valor residual.....	51
Reinversión.....	52
Evaluación económica.....	52
RELACIÓN COSTO-BENEFICIO.....	55
MESMIS.....	57
CONCLUSIONES.....	62
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>64</b>

## INTRODUCCIÓN

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Baja California Sur es un Estado que se ha caracterizado por la pesca desde sus primeros asentamientos humanos. No es para menos, ya que al formar parte de una península rodeada por el Océano Pacífico y el Golfo de California, la riqueza marítima ha sido aprovechada al máximo para satisfacer las necesidades alimenticias de los habitantes.

Con el crecimiento tecnológico y el desarrollo de pueblos y ciudades, la diversificación de actividades como la agricultura, la ganadería, el turismo y el comercio, emergieron y fueron dando ocupación a los pobladores, esto sin dejar de lado el sector pesquero, puesto que ahora, además de requerir satisfacer las necesidades alimenticias de los habitantes, había que satisfacer las necesidades alimenticias de los turistas que visitaban y siguen visitando Baja California Sur año con año.

A pesar de la importancia del papel que juegan la agricultura y la pesca en nuestro Estado, su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático hacen de dichas actividades primarias un foco de vigilancia permanente, el cual se debe responder con estrategias que permitan actualizaciones en materia de globalización y garanticen la calidad alimenticia de las personas que radican en las zonas más vulnerables del estado, donde la capacidad para obtener verduras frescas y de calidad se ve mermada por la dificultad para trasladarse, los recursos económicos, la falta de suelos fértiles y la poca disponibilidad de agua potable, problema que se agudiza por los impactos del cambio climático.

Al intentar resolver el problema mediante la inclusión de huertos tradicionales o la creación de parcelas de cultivo, solo se ha comprobado que el grado de éxito es muy bajo debido a la escasez de agua dulce, los altos índices de evaporación de la región, la salinidad de los suelos y la intrusión salina. Además, estos impactos se

han intensificado a través del tiempo, pues actualmente se sigue ocupando espacio, lo que en muchos casos se traduce como deforestación para crear campos de cultivo.

En este sentido, el desarrollo urbano y turístico, los desmontes agrícolas, la ganadería extensiva y la minería han sido las actividades que más han afectado a la región, incluyendo a sus servicios ecosistémicos (Ivanova, A. y Gámez, A. 2012).

## **JUSTIFICACIÓN**

Baja California Sur, además de ser una península, es la región con mayor extensión de litoral del país (INEGI, 2013). Esto significa que la cantidad de rancherías y comunidades pesqueras presentes es relativamente grande y que la conexión terrestre con el resto del país es muy limitada. A su vez, es un estado territorial muy vulnerable a la presencia de huracanes y otros fenómenos similares, tal como fue el caso de Odile en el año 2014. Las repercusiones por efecto de huracán desembocan en la interrupción de los suministros básicos y las comunicaciones, siendo las comunidades pesqueras y las rancherías las más afectadas.

Por otra parte, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (2006), una alimentación saludable debe incluir los nutrientes que las personas necesitan para mantenerse sanos, entre los que resaltan las proteínas, los carbohidratos, los lípidos y las vitaminas y minerales.

Precisamente estas vitaminas y minerales se encuentran en las verduras y las legumbres, las cuales en la mayoría de los casos son difíciles de obtener para las comunidades más alejadas de los centros urbanos, comunidades con difícil o nulo acceso a agua potable, e incluso colonias marginadas que se encuentran dentro de las mismas ciudades, pero en los llamados cinturones de pobreza. En muchos de estos casos, las dificultades para sembrar se presentan al no poseer los conocimientos técnicos necesarios para llevar a cabo agricultura orgánica intensiva, o bien, se carece de recursos como suelos fértiles o acceso a sistemas de riego eficientes. Además,

gran parte del estado está compuesta por suelos arenosos y climas desérticos, lo que ocasiona la pronta filtración de agua y la rápida evaporación.

El abastecimiento de verduras frescas a los habitantes de estas zonas se vuelve importante desde el momento en el que se considera el hecho de que una alimentación saludable y balanceada debe incluir las vitaminas, minerales y fibra que cubran el porcentaje diario recomendado para una vida sana y prevenir enfermedades (FAO, 2006).

Sabemos que en los últimos años se han buscado alternativas agrícolas para incrementar la producción, cantidad y calidad de los alimentos y satisfacer cualquier demanda del mercado. Sin embargo, se espera que para el año 2050, se requiera incrementar la producción de alimentos entre un 60 y 100% (FAO, 2009). Entonces, resulta difícil pensar en hacer esto de forma que no se afecten los recursos naturales. En ese sentido, el presente trabajo busca el diseño, desarrollo y puesta en marcha de un sistema acuapónico de pequeña escala para la producción de hortalizas orgánicas destinadas al autoconsumo de una familia promedio, como alternativa para fomentar la producción agrícola sostenible, la cual garantice la calidad de los cultivos y que gradualmente las comunidades se apropien del conocimiento y lo transfieran a las próximas generaciones, agregando mejoras y compartiendo sus propias experiencias, pues hoy en día existe una necesidad prioritaria y urgente de innovación en materia de agricultura, la cual debe promover altos rendimientos con el menor uso de suelo, espacio y agua potable, sí como el menor uso de fertilizantes químicos, plaguicidas y combustibles (Alcántar, 2009).

## **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Es socioambiental, técnica y económicamente viable colocar sistemas acuapónicos de pequeña escala para realizar agricultura de autoconsumo en Baja California Sur?

¿Existen las condiciones ambientales necesarias para hacer funcionar un sistema acuapónico de pequeña escala en Baja California Sur?

¿Pueden funcionar los sistemas acuapónicos como medida de adaptación al cambio climático?

## HIPÓTESIS

Baja California Sur tiene las condiciones socioambientales, técnicas y económicas necesarias para el establecimiento de sistemas acuapónicos de pequeña escala que permitan contribuir como alternativa viable a la agricultura de autoconsumo.

## OBJETIVOS

### *Objetivo general*

Analizar la viabilidad técnica, económica, socioambiental de la inclusión de sistemas acuapónicos de pequeña escala en Baja California Sur.

### *Objetivos específicos*

- Diseñar un sistema de acuaponía de pequeña escala con fines agrícolas de autoconsumo para cultivar hortalizas frescas optimizando la poca cantidad de agua potable disponible.
- Especificar cuál ha sido el grado de aceptación de los sistemas acuapónicos por parte de los habitantes de Baja California Sur.

- Definir las barreras y oportunidades socioeconómicas para la implementación de sistemas acuapónicas en Baja California Sur.

## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

La ecotecnología es una alternativa que funciona como vehículo para perseguir la sustentabilidad y el desarrollo, al brindar beneficios sociales y económicos en armonía con el ambiente. Sin embargo, esto ocurrirá siempre y cuando dichas tecnologías se adecuen a los contextos locales (Ortiz, 2015).

Actualmente uno de los mayores retos a los que se enfrenta la población mundial es la búsqueda de nuevos recursos y su óptimo aprovechamiento para satisfacer las necesidades de las poblaciones y al mismo tiempo preservar los mismos para las generaciones futuras.

En los marcos de la experiencia adquirida a través del tiempo, a medida que la humanidad progresa creando más desarrollo económico y más avances tecnológicos se incrementa la fuerza productiva, pero al mismo tiempo se genera fuerza destructiva (Altvater, 2016).

El artículo 25 de la declaración universal de los derechos universales es específica al establecer que “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios”.

Es sabido que, en nuestros días, en el esquema capitalista el principio no se cumple cabalmente, siendo aquellos habitantes de las comunidades rurales y zonas marginadas los más afectados, realzando la relación dominante de unos sobre otros y la notoria falta de planificación y gestión del territorio. En lo que respecta a la alimentación, la incertidumbre hace visible la relación de poder que se establece entre las personas y las corporaciones agroalimentarias (Saravia 2008).

Por otra parte, la FAO (2015) expone que la producción permanente de alimento como consecuencia del incremento poblacional posiciona a la acuicultura como la fuente principal de alimento con mayor incremento en los últimos años. Sin embargo, conforme el tiempo transcurre, los recursos como el agua, el espacio y la tierra se tornan escasos, razón por la cual aquellos sistemas de producción de alimentos integrales y sostenibles se vuelven cada vez más importantes a nivel mundial.

En México, en el año 2018 se sembraron 32, 406, 237.7 hectáreas de cultivos y se cosecharon 31,006,498.7 hectáreas. Sin embargo, aunque las cifras han ido en aumento a través de los años, no es suficiente para atender las necesidades de toda la población mexicana. Aunado a esto, se produjeron alrededor de 1,251,636.38 toneladas de agroquímicos, entre los que resaltan fertilizantes, pesticidas y herbicidas. (INEGI, 2019).

Entrando en contexto, Baja California Sur no resulta ser la excepción, ya que a medida que los avances tecnológicos, el crecimiento urbano, las construcciones de desarrollos turísticos y las extensiones de los campos de cultivo de las zonas agrícolas se incrementan, los recursos hídricos y de espacio se vuelven escasos y muy vulnerables a los impactos y variaciones climáticas, así como a las afectaciones ocasionadas por los agroquímicos y la intrusión salina. La pesca, por ejemplo, se ve afectada por la sobreexplotación y el calentamiento global que desplaza las poblaciones de organismos marinos hacia otras áreas dificultando su acceso. Ante estas situaciones, se deben contemplar alternativas que permitan afrontar estos eventos al tiempo que acarreen beneficios a la población general, incrementando su resiliencia y capacidad adaptativa (Lluch-Cota et al., 2017).

Se debe pensar entonces en una renovación de estrategias de producción de alimentos, basándose en sistemas capaces de proteger los recursos naturales como el suelo y los cuerpos de agua (Ramírez, *et al.* 2009).

Dentro de las estrategias que se plantean, existen algunas soluciones como los huertos familiares, los cuales, si se llevan a cabo de una manera efectiva y adecuada, pueden llegar a brindar hortalizas frescas y de calidad durante todo el año, independientemente del clima de la región. La inclusión de un huerto familiar debe

siempre tomar en cuenta el número de integrantes de la familia para determinar el tamaño de espacio a sembrar. Lo ideal es iniciar con una superficie pequeña y a medida que los responsables adquieran experiencia se puede ampliar (SAGARPA, 2016).

Una de las opciones que se recomienda seguir en lo relativo a la inclusión de los huertos familiares es la adopción de los cultivos y procesos orgánicos. En dichos cultivos se siguen ciertos principios que promueven la valoración de los recursos naturales, tal como la utilización de la composta natural, la rotación de cultivos y la elaboración de esencias y repelentes naturales. En los cultivos orgánicos se omite completamente la utilización de productos agroquímicos que pongan en peligro la calidad del suelo, los mantos acuíferos y la diversidad biológica (FAO 2015).

Respecto a los modelos de producción de orgánicos sostenible y de cultivo integral que han tomado fuerza en los últimos años destacan los sistemas acuapónicos, sobre todo en las zonas que carecen de suelos fértiles o los índices de contaminación de suelos son elevados. La acuaponía es una técnica de cultivo cuyo objetivo es producir alimento para consumo humano o animal, incorporando peces, plantas y bacterias, las cuales se encuentran en beneficio mutuo a través de un sistema que permite la recirculación del agua (García, 2005).

De acuerdo con Mateus (2009), entre los beneficios que se obtienen al ejecutar sistemas acuapónicos de pequeña escala resaltan los siguientes:

- Poca afectación a los cuerpos de agua y deterioro del suelo
- Integración y utilización de los desechos orgánicos generados por los peces, los cuales, a través de la acción bacteriana, se convierten en fuente de nutriente para las plantas.
- Posibilidad de adaptar los sistemas prácticamente a cualquier espacio
- No se requieren equipos costosos
- Pueden participar todos los integrantes de la familia o servir como oportunidades para establecer acciones comunitarias
- Promueven el autoconsumo

Se infiere entonces que la acuaponía es una técnica de producción integral e idealmente sostenible, la cual combina la acuicultura tradicional, que es la cría controlada de animales acuáticos, con la hidroponía, que es el cultivo de plantas en el agua sin utilizar tierra.

En los sistemas propuestos, la recirculación de agua se logra por medio de una bomba solar sumergible que oscila entre los 15 y 20 W, la cual se encarga de transportar el agua desde el contenedor donde se encuentran los peces hasta donde se encuentran las plantas. Una vez ahí, las plantas aprovechan los nutrientes dispersos en el agua por medio de sus raíces y el agua regresa nuevamente al contenedor donde se encuentran los peces. Cabe mencionar que en estos sistemas se prescinde de tierra, por lo que en su lugar se utiliza algún tipo de sustrato para sostener a las plantas, el cual además funciona como filtro para mantener los niveles de pH óptimos para los peces.

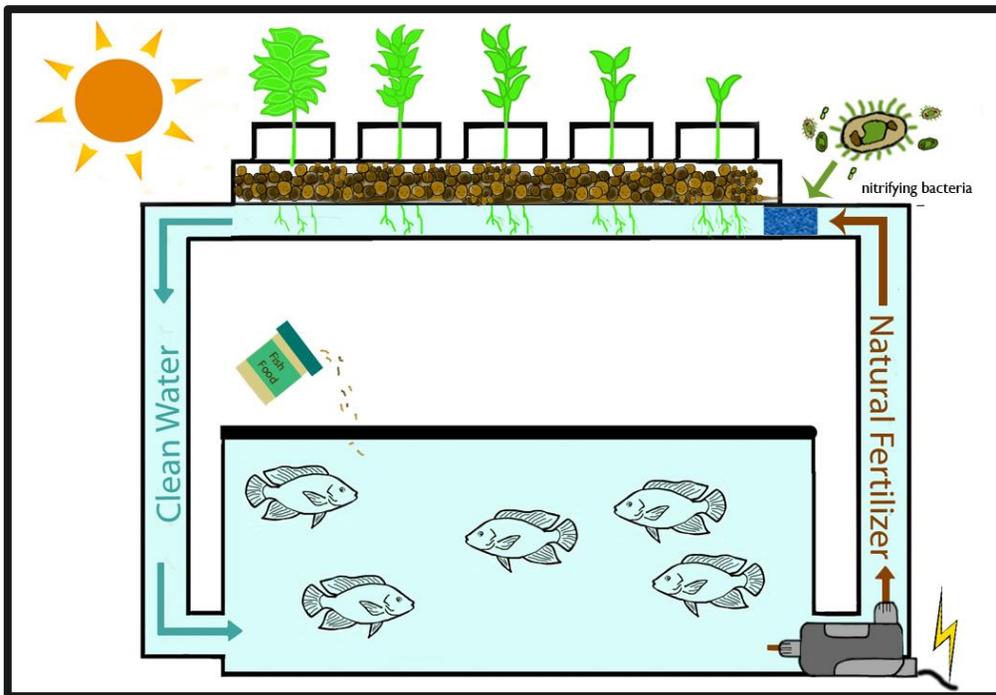


Figura 1. Funcionamiento de sistema acuapónico

En este punto es importante considerar que, aunque hoy en día existe mucha teoría respecto a este tipo de sistemas, en la actualidad hace falta mucha práctica, sobre todo en lo que respecta a nuestro país y aún más para nuestro estado. Esto se debe a que algunas de las variables como temperatura, calidad del agua, tasas de producción, organismos bacteriológicos presentes, diseño del sistema y algunos otros elementos, juegan un papel importante en la diferenciación y aplicación de los sistemas y módulos acuapónicos que se colocan en cada sitio.

Finalmente, el concepto de agricultura de autoconsumo, de acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es entendido como un tipo de agricultura que se basa en la transmisión de técnicas, métodos y tradiciones orientada a la producción destinada al consumo familiar y a la venta de excedentes en el mercado local (SAGARPA, 2016).

Esta tesis tuvo como finalidad diseñar y montar un sistema acuapónico de pequeña escala para la producción de hortalizas orgánicas destinadas al autoconsumo en una ranchería relativamente aislada y con poca disponibilidad de agua potable, para demostrar que su inclusión en Baja California Sur es socioambiental, técnica y económicamente viable al brindar alimentos de origen vegetal a familias y comunidades que se encuentran alejadas de los centros urbanos o que por alguna razón se les dificulta el acceso o la fácil obtención de hortalizas frescas. A su vez, se pudo determinar también que su inclusión es posible en cualquier lugar con suelos poco fértiles y con muy poca disponibilidad de agua dulce.

### *Necesidades en las plantas*

La nutrición es el proceso por el cual los seres vivos obtienen la materia y la energía que requieren para formar sus propias estructuras y realizar sus funciones vitales. Es sabido que la energía que utilizan los seres vivos procede de la degradación de la materia orgánica. En este sentido, los animales no tienen más remedio que conseguir este tipo de materia, ya fabricada, ingiriendo o degradando a otros seres vivos. Las plantas, en cambio, son capaces de fabricar su propia materia orgánica. Para ello

requieren luz solar, captar del aire dióxido de carbono y absorber por las raíces agua y sales minerales (FIG. 2). De esta forma se expone que de los 90 elementos químicos que aparecen en la naturaleza, 60 se pueden encontrar en las plantas, pero solamente 16 se consideran elementos esenciales, de forma que éstas no se desarrollan cuando falta cualquiera de ellos (Tabla 1). De estos elementos esenciales, sólo el carbono y el oxígeno provienen del aire; los 14 restantes son suministrados por el suelo (Margulis 2012).

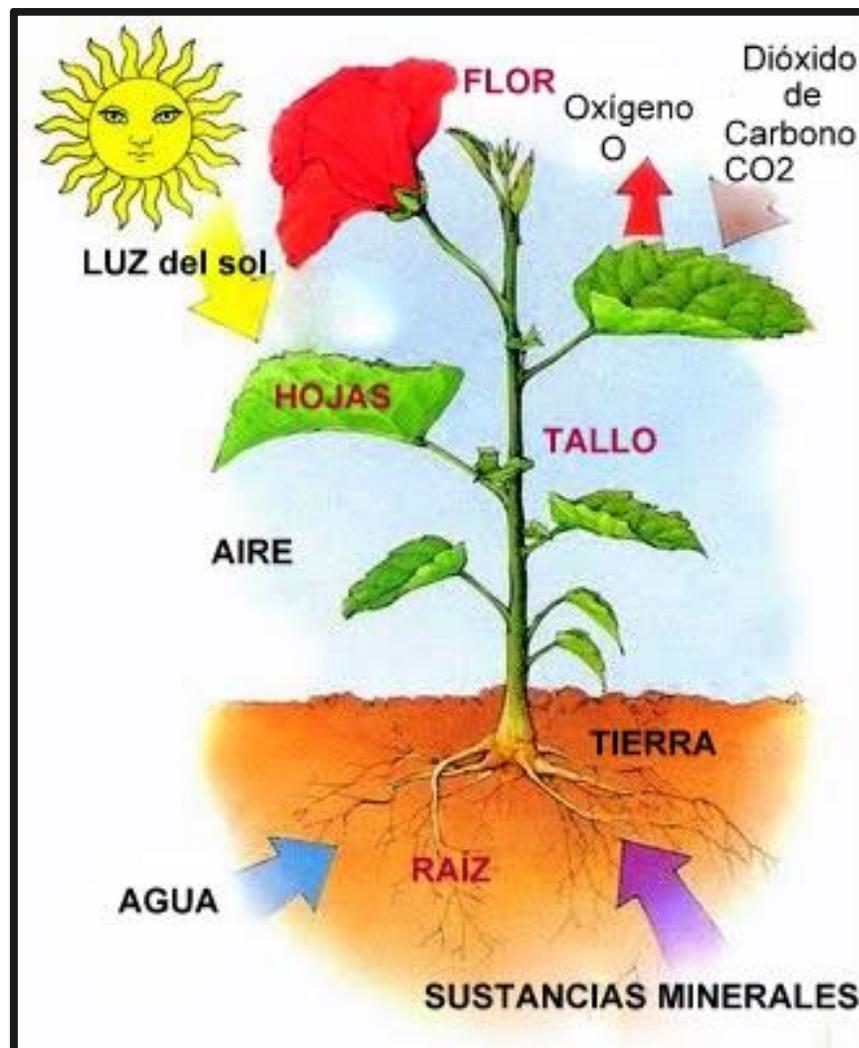


Figura 2. Necesidades en las plantas

Tabla 1. Elementos esenciales para las plantas

Elemento	% de concentración	Funciones
Carbono	45	Forma parte de todas las moléculas orgánicas
Oxígeno	45	Forma parte de todas las moléculas orgánicas
Hidrógeno	6	Forma parte de todas las moléculas orgánicas
Nitrógeno	1.5	Componente de todos los aminoácidos y nucleótidos
Potasio	1	Interviene en la apertura y cierre de los estomas
Calcio	0.5	Forma parte de la pared celular y regula la permeabilidad celular
Fósforo	0.2	Componente de los nucleótidos y de los lípidos que forman las membranas
Magnesio	0.2	Forma parte de la clorofila
Azufre	0.1	Componente de algunos aminoácidos
Cloro	0.01	Protege los fotosistemas de componentes oxidantes producidos durante la fotólisis del agua

Hierro	0.01	Forma parte de algunos transportadores de electrones y activa enzimas importantes en la síntesis de clorofila.
Cobre	0.006	Forma parte de algunos transportadores de electrones y algunas enzimas
Manganeso	0.005	Activa enzimas importantes para el catabolismo y es necesario para la liberación de oxígeno durante la fotosíntesis.
Zinc	0.002	Activador o componente de muchas enzimas
Boro	0.002	Forma un complejo con los azúcares, facilitando su transporte por la planta
Molibdeno	0.00001	Importante para la asimilación de nitratos.

### *Tipos de sistemas acuapónicos*

Diver (2006) agrupa 3 tipos principales de sistemas acuapónicos principales, los cuales se pueden combinar entre sí. Estos sistemas se han derivado directamente de los sistemas hidropónicos y se han alterado para adaptarlos al cultivo intensivo de peces. Los sistemas son los siguientes:

- Basado en sustrato.
- Raíz flotante o Balsa.
- Técnica de lámina de nutrientes o NFT (por sus siglas en inglés).

### *Basado en sustrato*

Este sistema utiliza camas de sembrado por lo general entre 8 a 12 pulgadas de profundidad rellenas de gravilla, tezontle o arcilla expandida. Las semillas o plántulas se siembran directamente en el sustrato. Estas camas se inundan y se drenan periódicamente con agua proveniente del estanque donde habitan los peces, permitiendo al agua enriquecerse de oxígeno y nutrientes. Este sistema es el más popular en instalaciones caseras y operaciones a pequeña escala.



Figura 3. Sistema acuapónico de sustratos, La Paz, B.C.S. JCPG

### *Raíz flotante o Balsa*

Estos sistemas se diseñan utilizando canales que contienen agua con una profundidad entre 10 a 12 pulgadas. Sobre los canales se colocan laminas flotantes, ya sean de poliestireno expandido, plástico o cualquier material inerte que pueda flotar. Se les hacen agujeros a las láminas y se insertan macetas tipo cesta, en las que se añade algún sustrato para las plantas. En este sistema las plantas tienen las raíces sumergidas en agua durante todo su periodo vida. Este sistema se utiliza mayormente en instalaciones de tipo comercial y es el óptimo para lechugas y vegetales de hoja.



Figura 4. Sistema acuapónico Las Castellanas, B.C.S.

### *Técnica de lámina de nutrientes o NFT*

En este sistema se utiliza una canal con agujeros por donde fluye continuamente el agua que proviene de los filtros que ayudan a mantener la calidad de agua para los peces. Las plantas cuelgan en macetas tipo cesta y sus raíces están expuestas al flujo continuo de las canales del cual extraen los nutrientes necesarios para desarrollarse y filtran el agua para los peces. Este sistema es el menos utilizado en acuaponía debido a su mantenimiento y a las adaptaciones que se le debe hacer para el manejo de los desperdicios sólidos de los peces.



Figura 5. Sistema acuapónico El Pescadero, B.C.S.

## CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

Tras una extensa búsqueda de información referente al tema se encontró que desde finales del año 2014 se están realizando algunos estudios relacionados con el tema de acuaponía en la región, los cuales abordan los principios de cultivo en zonas áridas y desérticas. Dichos estudios se han realizado en el municipio de La Paz, Baja California Sur, a cargo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Hoy en día, el CIBNOR, la Universidad de Tottori y la Universidad de Ciencias Marinas y Tecnológicas de Tokio están desarrollando un proyecto denominado *Producción sostenible de alimentos y uso eficiente del agua mediante técnicas avanzadas de acuaponía*. Los representantes del proyecto son el profesor Yamada Satoshi y el Dr. Ilie Sava Racotta Dimitrov. Dicho proyecto está orientado a desarrollar la resistencia genética de las plantas a sistemas salinos, al tiempo que esperan obtener resultados que sirvan como indicadores del manejo de sistemas acuapónicos en lugares desérticos como es el caso de Baja California Sur. El periodo de vida del proyecto se estima que sea de 7 años.

Siguiendo el contexto, desde el año 2013 hasta el año 2016, la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA) con el soporte y asistencia de la empresa privada BOFISH, S.A. De C.V., hizo esfuerzos por implementar un programa que consistía en la disposición de recursos económicos federales para la construcción de diversos módulos acuapónicos de escala comercial distribuidos en el municipio de La Paz y Los Cabos. Los proyectos fueron 9 y son los siguientes:

Santiago (2014). Producción agroturística de tilapia haciendo uso de paneles solares.

Reforma agraria I (2015). Producción de camarón y plantas halófitas.

Miraflores (2015). Sistema de producción de tilapia y hortalizas bajas.

Los Planes (2015). Producción de tilapia, camarón y plantas halófitas.

Puerto Chale (2015). Producción de camarón y plantas halófitas.

Caduaño (2015). Producción de tilapia y hortalizas de bajo porte.

El Centenario (2015). Producción de tilapia y hortalizas de bajo porte.

Pescadero (2016). Producción de tilapia, lechuga y fresa.

Las castellanas (2016). Producción de tilapia y hortalizas de bajo porte.

Es importante señalar que para el presente estudio no se han encontrado información o documentos que muestren evidencias de éxito en ninguno de los proyectos antes mencionados.

Por otro lado, en el país, uno de los trabajos sobresalientes en el tema, en donde se aborda ampliamente la puesta en marcha de un sistema acuapónico en zonas áridas, así como los componentes físicos y químicos que integran dicho sistema, es en la tesis *“Caracterización de los nutrientes de interés hidropónico contenidos en la fracción particulada residual de cultivo de tilapia (Oreochromis spp.)”*, elaborada por la MC Yenitze Fimbres (2015). Dicha tesis toma en cuenta los aspectos generales que un sistema acuapónico debe considerar al momento de establecerse en zonas áridas semejantes a las de nuestro estado, entre los que se contemplan la colocación de sistemas acuapónicos que realicen una recirculación de agua efectiva, donde se recuperen no solo los nutrientes de la fracción líquida residual, sino también los contenidos en la materia orgánica particulada.

Del mismo modo, la tesis de licenciatura de Diego Alfredo Kanchi Díaz (2013), titulada *“Implementación de un sistema acuapónico urbano bajo invernadero en la ciudad de Xalapa, Ver.”*. Aborda, entre otros elementos, un práctico ejemplo comparativo de resultados, ya que el módulo de acuaponía implementado en la misma se realizó a una escala pequeña, con un sistema acuapónico de fácil instalación y manejo a un bajo costo. De esta forma, su tesis concluyó que el sistema acuapónico implementado en ese trabajo fue viable para la producción complementaria de alimentos en espacios restringidos en zonas urbanas, produciendo proteína animal y distintas hortalizas.

En la tesis de la M.C. Sheila Guadalupe Rubio Cabrera (2012), titulada *“Análisis técnico de producción de tilapia (Oreochromis niloticus) y lechuga (Acrópolis lactuca sativa) en acuaponía”* se determinó la relación adecuada en la densidad entre peces y

plantas para un óptimo aprovechamiento del agua y del área de cultivo, concluyendo que era factible la producción de *Oreochromis niloticus* y *Acrópolis lactuca sativa* en sistemas acuapónicos de recirculación de agua sin recambios.

Dentro de los casos exitosos de implementaciones de sistemas acuapónicos en diferentes regiones, se pueden resaltar los siguientes:

La Estación Experimental del Centro para la Agricultura en Ambiente Controlado de la Universidad de Arizona, EUA, donde los productos finales consisten en producción de tilapia y siete variedades diferentes de lechuga. El objetivo es cuantificar la cantidad total de biomasa (piscícola y vegetal) que puede ser cultivada por cada gramo de alimentación para los peces.

El Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (CESUES), donde se ha trabajado con sistemas acuapónicos desde el año 2005, produciendo lechuga, tomate, pepino y forraje con los efluentes del pez tilapia. En este caso el objetivo es investigar la integración entre peces y plantas.

El Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), en donde se desarrolla un experimento en el cual utilizan agua recirculante de acuicultura para cultivar tilapia con fresa. Su objetivo es determinar la relación óptima entre la densidad de la población de tilapia frente al número de plantas de fresa.

La Universidad Autónoma de Guadalajara desarrolla experimentos con los efluentes de tilapia desde el año 2001. Los desechos pasan por las camas de arena-grava con plantas de pepino y tomate. En dicho experimento se estudia la eficacia de la extracción del amoníaco por parte de las camas de grava y arena.

En lo referente a la publicación de artículos de investigación sobresalientes en el marco de la acuaponia se encuentran los siguientes:

García-Ulloa, M, León, C., Hernández, F. y Chávez, R (2004) publicaron la evaluación de un sistema experimental de acuaponia. Durante su experimento incorporaron la producción de 450 tilapias de 90 g de peso en promedio (*Oreochormis mossambicus*) y 40 plantas de pepino (*Cucumis sativus*) durante 75 días. Los pepinos se regaban con

agua de desecho de las tilapias mediante un sistema de recirculación de agua. Al final del cultivo se produjeron casi 5 kg de pepino y los peses crecieron 25 g.

Cervantes-Santiago, A., Hernández, M.P. Y Pérez-Rostro, C.I. (2016) publicaron un artículo en el que, mediante el ciclo de producción de tilapia, realizaron el cultivo de hongos setas, forrajes verdes y cucurbitáceas en un sistema acuapónico, con el objetivo de evaluar la eficiencia en la remoción y aprovechamiento de desechos nitrogenados. Al final la producción acumulada total de setas fue 16 % superior en comparación con el riego tradicional. Hubo además un rendimiento del 30% en la producción de pepino y sandía. Se concluyó que durante el ciclo de producción de tilapia se pueden cultivar diferentes vegetales y aprovechar así los metabolitos nitrogenados mediante la acuaponia.

Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P. y Hurtado, H. (2008) publicaron un artículo en el que presentan los principios fundamentales de la acuaponia y realizan una comparación entre los diferentes tipos de sistemas acuapónicos, las variedades de peces que se pueden utilizar, así como las variedades de plantas. En dicho documento discuten las ventajas y desventajas de la acuaponia y analizan la factibilidad en términos de utilización de recursos y producción limpia. Se concluye que el cultivo de peces, en comparación del cultivo de ganado y pollos para generar alimento, es una mejor alternativa, pues requieren menos comida para generar cada libra de carne y que frente a un sistema hidropónico tiene la ventaja de generar otro producto además de las plantas y que no se requiere invertir en fertilizantes sintéticos. En lo que respecta a las ventajas y desventajas antes mencionadas, los autores destacan que la acuaponia constituye una actividad amigable con el ambiente la cual produce muy pocos desechos y tocan también los beneficios y contribuciones que pueden tener estos sistemas a nivel social, dando solución a problemas alimentarios y creando fuentes de empleo. Entre las desventajas mencionadas indican los altos costos de inversión inicial y los conocimientos técnicos que se deben disponer de antemano para manejar los módulos.

Finalmente, cabe destacar que a nivel comercial hay dos empresas que manejan estrictamente sistemas acuapónicos en México. La primera es Acuacultura del

Desierto, ubicada en Baja California, donde se producen 3 toneladas de tilapia por ciclo y 350 m<sup>2</sup> de albahaca por semana. La segunda empresa es Bofish, ubicada en Guadalajara, Jal. Donde tienen 3 sistemas diferentes de acuaponía y se cultiva tilapia y hortalizas como tomate, chile, lechuga y algunas otras hierbas de olor.

## **CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **MARCO CONTEXTUAL**

El presente estudio se realizó en el Rancho Las Castellanas, el cual se encuentra ubicado a 55 km al sur de la ciudad de la Paz, B.C.S., en Carretera Transpeninsular La Paz-Todos Santos. Se localiza geográficamente en las coordenadas 23°37'23.07"N y 110°14'50.71"O.

El clima que predomina en la región es cálido seco, con una temperatura media anual de 23°C. Durante el verano la temperatura durante el día está por encima de la media y presenta un descenso marcado de temperatura por las noches por ser una zona desértica. El periodo de lluvias comienza entre los meses de agosto y septiembre, con pocas precipitaciones que alcanzan una media anual de 151 mm de agua.

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo se colocó un sistema acuapónico de pequeña escala para realizar agricultura de autoconsumo. Dicho sistema puede describirse a través de sus componentes físicos y sus componentes biológicos.

## COMPONENTES FÍSICOS DEL SISTEMA

### *Contenedor de plantas y sustrato*

Es un tanque Rotoplas de 600 L el cual fue convenientemente cortado a 60 cm de altura desde la base y cuya función es servir de contenedor al sustrato elegido para sembrar y cultivar las plantas elegidas.

### *Tanque de peces*

Es una caja plástica que puede ser de color negro o azul, de uso rudo, con una capacidad de 40 L y que sirve para resguardar a los peces que se acoplarán al sistema acuapónico

### *Bomba solar sumergible*

Por lo regular es de 15 o 20 W. Su función es circular el agua del tanque de peces hacia el contenedor donde están las plantas, llevando los nutrientes necesarios a las semillas y/o plántulas y al mismo tiempo oxigenando el agua para los peces.

### *Tezontle o gravilla*

Se requieren aproximadamente 80 Kg y su función es filtrar el agua, retener la humedad y servir como soporte para las semillas y plantas.

### *Tubería PVC hidráulica ½"*

Se requieren aproximadamente de 2 a 3 metros y su función es conducir y distribuir el agua de la bomba equitativamente en el contenedor donde están las plantas.

## COMPONENTES BIOLÓGICOS DEL SISTEMA

### *Guppys (Poecilia reticulata)*

Es un pez ovovivíparo de agua dulce que llega a medir entre 2 y 3 cm. Es procedente de Sudamérica y habita en zonas de corriente baja de ríos, lagos y charcas. Su cuidado no ofrece grandes dificultades y se reproduce con facilidad. Estos peces se

alimentan de todo, principalmente de alimentos ricos en proteínas como la artemia salina, pulga de agua, larvas de mosquito, o cualquier alimento vivo. En cautiverio pueden alimentarse de vegetales, algas o guisantes cocidos, ya que es un pez omnívoro.

#### *Sitio de Colecta para la experimentación*

El lote de organismos utilizados (25 organismos) provino del ojo de agua de San Bartolo, B.C.S., localizado a 64 km al sur de la ciudad de La Paz (23°73'82" N y 109°84'62" O). Este poblado se caracteriza por contar con un Ojo de agua o aguaje que genera escurrimientos de agua dulce que albergan una gran cantidad de peces pequeños e insectos. Se recolectaron organismos de ambos sexos y de distintas edades. Posteriormente se depositaron en el tanque de peces destinado al sistema acuapónico.

#### *Alimento utilizado*

Una vez puesto el sistema en marcha, la alimentación inicial se realizó por medio de tabletas de alimento de la marca Bioma. Se agregaron al agua 8 tabletas de 20 g cada semana. Las tabletas contienen espirulina, espinaca y otros vegetales. Dichas tabletas fueron proporcionadas a los peces 1 vez por semana solamente durante el primer mes. Posteriormente, tras la formación de algas y la visita recurrente de insectos pequeños, se suspendió la alimentación con tabletas de alimento.

#### *Hortalizas*

Para el módulo experimental acuapónico colocado, se utilizaron semillas de distintas hortalizas, entre ellas pepino, espinaca y cilantro. Estas especies fueron elegidas acorde a la temporada en que se colocó el sistema (Período febrero – junio).

### *Pepino (Cucumis sativus)*

Es una planta anual, de la familia de las cucurbitáceas. La planta suele tener una vida vegetal de 4 o 5 meses y es capaz de dar frutos a partir del segundo mes de germinación.

### *Espinaca (Spinacea Oleracia)*

Es una planta anual, de la familia de las amarantáceas, cultivada como verdura por sus hojas comestibles, grandes y de color verde muy oscuro. Su cultivo se puede realizar en cualquier época del año y se puede consumir fresca, cocida o frita.

### *Cilantro (Coriandrum sativum)*

Planta que anualmente alcanza unos 40 o 60 cm de altura. Tiene tallos en vertical, hojas compuestas, flores blancas y frutos aromáticos. Es de hábito anual y bajo condiciones normales, alcanza de 40 a 60 cm de altura.

## **CONSTRUCCIÓN DEL MODULO ACUAPONICO DE PEQUEÑA ESCALA DESTINADO AL AUTOCONSUMO**

- Se delimitó un área de 3x3 m cercana a una de las viviendas del rancho. Para ello se procuró que fuera un área con poca pendiente, despejada, que mantuviera al sistema resguardado del viento, con sombra para el estanque de peces y con suficiente luz para hacer funcionar el panel solar de la bomba y no limitar el crecimiento de las plantas.

-Se utilizó un tinaco Rotoplas de 600 L, el cual fue cortado un poco arriba de la mitad para utilizarlo posteriormente como contenedor de sustrato o cama de siembra, siendo el sitio donde crecerán las plantas.

-Se colocaron 6 bloques de construcción de cemento, apilados en pares, para que sirvieran de soporte y reposar sobre ellos la cama de siembra.

-Se procedió a llenar la cama de siembra con el sustrato. Para ello se utilizó 80 kg de tezontle.

-Tras colocar el sustrato se colocó el contenedor o estanque de peces, para cual se buscó que su posicionamiento quedará lo más cercano, simétrico y próximo posible a la cama de siembra. Se buscó que la caída de agua fuera de unos 15 cm, lo suficiente para oxigenar el estanque. Una vez colocado, se utilizaron 40 litros de agua purificada para llenarlo.

-Completado el paso anterior, se introdujo la bomba sumergible en el estanque de peces y se colocó la tubería pvc hidráulica para conducir el agua hasta la cama de siembra. A su vez, se procuró direccionar el panel solar de la bomba de forma tal que se aprovechara la luz solar la mayor parte de las horas del día.

-Se introdujeron 25 guppys (*Poecilia reticulata*) machos y hembras, de distintas edades.

-Se dejó pasar una semana para sembrar 80 semillas, 40 de espinaca, 20 de pepino y 20 de cilantro.

-Semanalmente se monitoreó el pH con un medidor electrónico de pluma de la marca Gain Express Holdings LTD, modelo 8685 con error de medición de 0.2.

-Semanalmente se tomó la temperatura con un medidor electrónico de pluma de la marca Gain Express Holdings LTD, modelo 8685 con error de medición de 0.2.

-Semanalmente se monitorearon los niveles de evaporación mediante la reposición del agua evaporada en el sistema.

## **REALIZACIÓN DE UNA GUÍA DE OBSERVACIÓN**

Para evaluar el desempeño técnico del sistema propuesto se procedió a realizar una guía de observación. Para ello se realizó una evaluación del desempeño del sistema acuapónico de autoconsumo y se establecieron una serie de indicadores en la escala del 0 al 3: ¿El sistema funcionó con normalidad? ¿Las semillas germinaron sin problemas? ¿El flujo de agua fue constante? ¿Los peces se desarrollaron con normalidad? ¿Se logró la cosecha de hortalizas y/o hierbas de olor?

## **REALIZACIÓN DE GRUPOS FOCALES**

Con el objetivo de recolectar datos que permitieran registrar las actitudes, experiencias y reacciones de los habitantes locales por la inclusión del sistema acuapónico, se realizaron 2 grupos focales, uno al colocar el sistema y otro al finalizar el periodo de experimentación. Para dicha dinámica se convocó a una reunión informal a manera de charla con la mayor cantidad de personas posible.

## **REALIZACIÓN DE ANALISIS COSTO-BENEFICIO**

Tuvo como finalidad medir la rentabilidad de la inversión de los sistemas acuapónicos colocados. Dicho análisis estuvo basado en la Guía de Preparación y Evaluación de Proyectos de Lerdon (2004), de donde se obtuvo el análisis de los siguientes aspectos:

### *Estudio de mercado*

Se definió y describió de forma general el producto y la presentación a los consumidores

### *Estudio técnico*

En este apartado se procedió a analizar los aspectos tales como la construcción del sistema propuesto, los materiales utilizados y el proceso de producción para el sistema elegido (sustratos), así como los materiales que fueron involucrados en todo el sistema, considerando semillas, sistemas de riego, etc.

### *Estudio financiero*

En este punto se abarcaron temas como el análisis de los costos, donde se involucró todo lo relacionado con la inversión total, los ingresos existentes, costos de producción, gastos generales, depreciaciones y reinversiones.

## **UTILIZACIÓN DEL MARCO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE MANEJO DE RECURSOS NATURALES INCORPORANDO INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD (MESMIS)**

En lo que respecta al análisis ambiental, se utilizó como base metodológica el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), que, de acuerdo con Masera, Astier y López-Riadura (2000) es una herramienta metodológica que:

- Ayuda a evaluar la sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales, con énfasis en el contexto de los productores campesinos y en el ámbito local.
- Brinda una reflexión crítica enfocada en la mejora de las posibilidades de éxito de la propuesta de sistemas de manejo alternativos y de los propios proyectos involucrados en la evaluación
- Busca entender las limitaciones y posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo que surgen de la intersección de procesos ambientales con el ámbito social y económico.
- Evalúa la sustentabilidad comparativa de los sistemas de manejo
- Presenta una estructura flexible para adaptarse a los diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente. (p. ix)

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### COLOCACIÓN DEL SISTEMA ACUAPONICO DE PEQUEÑA ESCALA

El espacio efectivo para la instalación del sistema acuapónico de pequeña escala fue de 6 m<sup>2</sup> (2 x 3 m), siendo el área del nodo de 2 m<sup>2</sup> (2 x 1 m). Esto con la finalidad de permitir un libre acceso alrededor del sistema. Cabe señalar que el tiempo de ensamblado fue de 2 horas entre dos personas.

Una vez que el sistema fue colocado e instalado en el área designada, se verificó que no existieran fugas de agua, lo cual contribuyó a evitar malos funcionamientos y descomposturas de la bomba solar sumergible. Durante el tiempo de funcionamiento, es decir, desde la puesta en marcha el 4 de febrero del 2018 al 3 de junio de 2018 no hubo problemas técnicos de funcionamiento por parte del sistema. Una vez por semana se verificaban los niveles de pH, se tomaba la temperatura del agua, se medía el oxígeno disuelto y la evaporación.

Es importante señalar que uno de los habitantes de la comunidad voluntariamente se hizo responsable de supervisar diariamente el sistema para resolver situaciones relacionadas con la protección de este contra animales (ganado bovino y caprino) y la limpieza del panel solar. Dicha acción se consideró pues en la primera semana de funcionamiento los animales de granja comenzaron a usar el sistema como bebedero y a tomarse el agua, razón por la cual se optó por proveer vigilancia y adecuar un pequeño cerco para mantenerlos alejados.

El sistema al momento de la instalación arrancó con un volumen de agua inicial de 40L, mismos que se perdían a través de la evaporación y transpiración de las plantas, llegando a una pérdida promedio de 12 litros por semana, los cuales eran repuestos para mantener la cantidad inicial de agua. Carrasco (1996) señala que en los sistemas hidropónicos y acuapónicos por lo regular existe un ahorro de hasta un 80% en el recurso hídrico, pero que esta medida dependerá del grado de optimización en los procesos de recirculación y aprovechamiento del agua. En este caso, no hay desecho de agua, solamente recirculación, consiguiendo de esta forma un aprovechamiento del recurso bastante amplio. Sin embargo, los meses en los que el sistema estuvo en

funcionamiento no fueron ni los más calurosos ni lo más fríos, por lo que se esperaba que en los meses de julio y agosto (que son los más calurosos) la cantidad de agua evaporada que deba ser repuesta sea mayor y a su vez en los meses entre octubre y enero (los meses más fríos) los índices de evaporación disminuyan considerablemente.

De acuerdo con Obregón (2005), los niveles de pH, óptimos en un acuario de peces tropicales debe estar en el rango de entre 7 y 8. En el sistema acuapónico instalado la oscilación se mantuvo entre el 7.5 y 7.8, manteniéndose así en un rango óptimo para un sano desarrollo de peces tropicales. Del mismo modo, la temperatura del agua ideal debe oscilar los 25 °C y en el sistema se mantuvo en un promedio de 24°C. Cabe mencionar que se procuró tomar la temperatura a la misma hora en cada muestreo. En cuanto a la media del oxígeno disuelto, esta fue de 4 mg/L. Obregón (2005) recomienda a su vez una densidad de población de 1 pez por cada litro de agua. En el sistema se colocaron 25 peces en una cantidad de 40 L de agua, es decir, 1.6 litros de agua por cada pez. Cuando los peces comenzaron a reproducirse, los habitantes de la comunidad los extrajeron y los colocaban en estanques caseros independientes al sistema para continuar reproduciéndolos. Con esta acción se procuró que siempre hubiera 25 peces en el sistema. Un aspecto que se debe señalar es que los guppys en condiciones óptimas de alimento y temperatura pueden reproducirse cada 30 días, tendiendo frecuentemente a la sobrepoblación. Por esta razón, es importante gestionar adecuadamente el sistema y elaborar un plan de manejo de peces, ya sea para limitar el crecimiento poblacional (manejando solamente hembras o machos) o para adaptar un criadero para la comercialización y/o para la futura creación de más sistemas acuapónicos.

Por otra parte, de las 80 semillas que se colocaron en el sistema, se logró la germinación y posterior crecimiento de 70 plantas, dando como resultado un 87.5% de éxito en la germinación. Las semillas que se utilizaron fueron de la marca VITA y tenían menos de 6 meses de haberse empacado para su venta.

Estas semillas convencionales y comerciales se eligieron para efectos de la presente investigación por tener mayores probabilidades de éxito en la germinación contra las

semillas orgánicas, pues son empacadas en condiciones inocuas y rociadas con repelentes de insectos. Sin embargo, el sistema acuapónico de pequeña escala fue diseñado para germinar y desarrollar semillas orgánicas, transgénicas y de cultivos convencionales.

Cabe destacar que durante el tiempo de observación no se registró la presencia de plagas o enfermedades en las plantas. Como prevención, se utilizó un repelente orgánico elaborado con ajo, tabaco y cebolla. 20 g de cada uno, licuados y mezclados con 200 ml de agua purificada. Dicho repelente se rociaba una vez por semana.

No hubo registro de peces muertos o enfermos. Los peces inicialmente fueron alimentados con pastillas de alimento compuestas de vegetales y adicionadas con proteínas. Sin embargo, se suspendió su uso al finalizar el primer mes de la puesta en marcha, pues se alimentaban de las algas que crecían de manera natural en el sistema y de las larvas de insectos que se introducían al contenedor. Esto servía además para regular la población de peces en el sistema.

## **COSECHA**

Entre los meses de abril y mayo se realizó la cosecha de 7 pepinos, 3 kg de espinaca y 0.5 kg de cilantro. En el caso de los pepinos, las semillas resultaron ser de una variedad pequeña, pero con un sabor un poco más fuerte. Las hojas de las espinacas alcanzaron un tamaño comercial (20 cm) y la coloración del cilantro se consiguió posiblemente gracias a la presencia continua de nitrógeno en el sistema. Resultó poco común realizar la cosecha de pepinos y espinacas en mayo y abril, pues de forma convencional se consideraba fuera de temporada en la zona, es decir, que si se hubiesen cultivado en tierra posiblemente no se hubiera conseguido su cosecha o al menos hubiese sido un porcentaje de éxito muy bajo. Marulanda (2003) explica que existe una variación micro climática favorable en los sistemas hidropónicos que puede llegar a prolongar el ciclo de vida de algunas hortalizas.

## **GUÍA DE OBSERVACIÓN**

En la tabla 2, se puede apreciar la evaluación del desempeño técnico del sistema.

Tabla 2. Evaluación del desempeño técnico del sistema acuapónico de pequeña escala.

EVALUACIÓN	INDICADORES	0	1	2	3
Desempeño técnico del Sistema acuapónico de autoconsumo	El sistema funcionó con normalidad				3
	Las semillas germinaron sin problemas			2	
	El flujo de agua fue constante				3
	Los peces se desarrollaron con normalidad				3
	Se logró la cosecha de hortalizas y/o hierbas de olor			2	
<p><b>ESCALA</b></p> <p><b>0 Nada 1 Pocas veces 2 Casi siempre 3 Completamente</b></p>					

Cómo se puede apreciar, el sistema acuapónico de pequeña escala funcionó con normalidad completamente, las semillas germinaron sin problemas casi siempre, el flujo de agua fue completamente constante, los peces se desarrollaron con normalidad completamente y se logró la cosecha de hortalizas y/o hierbas de olor casi siempre.

En el caso de las semillas, algunas de ellas fueron sustraídas por diversas aves e insectos voladores una vez que fueron esparcidas en el sistema.

Algunas de las plantas y frutos que comenzaban a desarrollarse pero que en su apariencia se observaba un limitado crecimiento, pérdida de hojas o una coloración opaca verduzca, fueron eliminadas manualmente para disminuir el consumo de nutrientes y enfocar esos nutrientes en las plantas más fuertes y sanas.

Uno de los retos a los que se enfrenta la acuaponia es que los sistemas deben adecuarse a los contextos locales. Los distintos modelos y diseños que se mostraron en el marco teórico han sido creados para funcionar en distintas regiones del planeta. El diseño y los componentes del sistema acuapónico de pequeña escala para autoconsumo contempló materiales de bajo costo pero que además fueran resistentes a los cambios de temperatura y que al mismo tiempo aprovechara la luz solar que está disponible en el sitio la mayor parte del año. Por otra parte, al no manejar peces de gran tamaño o enfocarse en la cría de peces de consumo, se logra un mejor control en el equilibrio entre peces, plantas y bacterias, se disminuye considerablemente el gasto por alimento para peces y el filtro natural conseguido con el tezontle no requiere limpieza o recambios.

## **GRUPOS FOCALES**

El primer grupo focal se realizó el 4 de febrero del 2018. 20 o 30 minutos después de haber instalado el sistema en el área que se había designado para tal propósito.

Inicialmente las personas que habían asistido al grupo focal (algunos estaban fuera del rancho) estaban muy escépticos y veían el sistema con incredulidad y algo de desconfianza. En dicha reunión se les comentó en qué consistía el proyecto y los resultados que se esperaban obtener. Algunos de los comentarios más relevantes fueron registrados y se muestran a continuación:

- “¿Para qué dices que sirve este aparato? No mijo, yo no creo que te funcione. Si lo que quieres es sembrar, pues ahí está la tierra, ahí tienes mucho espacio”. (Samir, 48 años, ejidatario).
- “¿Entonces dices que no se necesita echarle fertilizante, ni ninguna sustancia ni ningún químico al agua? ¿Y entonces como se riegan las plantas?”. (José, 36 años, jornalero).

El segundo grupo focal se realizó el 3 de junio de 2018. La reunión se hizo a manera de cierre para recabar la experiencia al manejar el sistema. De igual forma que el primer grupo focal, los comentarios más relevantes se presentan a continuación:

- “Yo vi que las plantas crecieron más rápido aquí que las que pusimos en la tierra. A mí lo que mas me gustó es que se pueda tener cerquita de la casa” (Cinthia, 40 años, ama de casa).
- A mí me gustó porque se le puede sembrar calabacitas y tomates y también esta bueno para darle de comer a las gallinas. Esta muy bien porque la siembra esta protegida y no ocupas agacharte para sembrar ni cosechar” (Tere, 42 años, jornalera y ama de casa).

En general, la disposición de la comunidad fue muy buena. Un punto que resultó clave para que permitieran la colocación e instalación del sistema acuapónico de pequeña escala fue que finalizado el periodo de experimentación podrían quedarse con el y que las hortalizas cosechadas podían repartírselas.

A la comunidad en general les resultó muy agradable, llamativo y novedoso el hecho de que el sistema incluyera un criadero de peces ornamentales que no requerían grandes cantidades de alimento. En el caso de los niños fue un éxito, pues frecuentemente ellos buscaban alimentar a esos peces con restos de alimentos de cocina o de su propia comida.

Sin embargo, la primera semana el sistema estuvo funcionando sin llamar mucho la atención. Fue hasta la segunda semana, cuando surgieron los primeros brotes que la gente comenzó a emocionarse y adoptaron el sistema como suyo. Comenzaron a cuidarlo y se aseguraban de que el panel solar estuviera colocado de manera

adecuada para recibir la luz solar que requería. También comenzaron a cuidar que los animales no se acercaran a tomar agua de este, pues se corría el riesgo de que tirarán o destruyeran los componentes del sistema.

Llegado el tiempo de cosecha, ellos mismos decidieron cosechar, fascinándose porque no requerían agacharse y por la calidad y sabor de las hortalizas obtenidas.

## **ANALISIS COSTO-BENEFICIO**

### *Producto*

Para la realización del presente análisis se utilizó como modelo de cultivo y producción la espinaca, (*Spinacia oleracea*), la cual es una planta anual de la familia de las amarantáceas, procedente de Persia, que posee hojas comestibles de un color verde oscuro. Se puede cultivar prácticamente en cualquier época del año y se puede consumir fresca, cocida o frita. Actualmente es una de las verduras más consumidas del mundo (GIACONI, 1999).

En México existen alrededor de 900 hectáreas destinadas a esta hortaliza, superficies que se encuentran en su mayoría en los estados de Puebla, Baja California, Ciudad de México, Coahuila y Michoacán. La producción anual es de 11 mil toneladas (TECNOAGRO, 2010).

La espinaca hidropónica se produce en medios inertes en sistemas que se han comenzado a utilizar desde mediados de los 90's en México. Aunque el mayor uso de estos sistemas se ha designado a la lechuga, con el tiempo han adquirido popularidad para diferentes cultivos, generando un mayor uso por la producción limpia, libre de las plagas y enfermedades del suelo.

El principal destino de las espinacas es la exportación hacia la región norte y Europa. Las espinacas presentan un ciclo aproximado de 40 a 50 días desde la siembra hasta la cosecha, requiriendo entre 18 y 21°C para su germinación y alrededor de 22° para su óptimo desarrollo (GIACONI, 1999).

Las espinacas se comercializan en distintos supermercados y fruterías. Por lo regular se venden en bolsas plásticas refrigeradas con indicaciones del productor y sugerencias de almacenamiento. También es muy común encontrarlas en presentaciones congeladas. Su demanda diaria es de 20 bolsas por cada supermercado en México.

En lo que respecta a la tendencia actual de los consumidores, se sabe que están buscando elegir productos más naturales, con menores cargas de pesticidas, que los productos se vean limpios, libres de plagas y/o enfermedades y que se puedan conseguir lo más fresco posible. En este sentido, los sistemas acuapónicos o hidropónicos están encontrando un nicho de mercado acorde a las necesidades de los clientes.

Actualmente, la mayoría de los productos hidropónicos se cultivan con la finalidad de exportarlos, y aquellos que llegan a nuestros supermercados, por lo regular son productos de la zona central del país y sus precios son todavía algo elevados, por lo que se prevé que, si más gente produjera hortalizas hidropónicas a nivel local, eventualmente los precios disminuirían y la disponibilidad de estos aumentaría.

#### *Determinación del tamaño del sistema acuapónico*

El tamaño del sistema se determinó en función de la producción esperada, por lo tanto, la producción de este sistema fue de 40 plantas de hoja verde, en este caso espinaca, en un solo ciclo de producción y se consideró un 10% de pérdida desde la siembra a la cosecha, por lo que la producción final fue de 36 plantas de espinaca (Tabla 3).

Tabla 3. Detalle de la producción esperada

Relación	Descripción
Densidad en el sistema	40 plantas/m <sup>2</sup>
Pérdida estimada hasta la cosecha	10%
Cosecha	36 plantas

Se utilizó un tinaco reforzado marca Rotoplas de 800 litros como contenedor, el cual se cortó a una altura de 60 cm para proveer una superficie de siembra efectiva de 80 cm de diámetro en la cual fueron sembradas 40 plantas de espinaca. La densidad establecida es un poco mayor de la propuesta por Alvarado *et al.* (2001) quién recomienda de 25 a 30 plantas en el mismo espacio de siembra en suelo directo. Sin embargo, considerando que la disponibilidad de nutrientes y agua en el sistema fueron constantes y mayores que en el suelo directo, los resultados fueron favorables.

El resto de los componentes del sistema fueron una caja de plástico rígido de uso rudo de 100 gal, 2 m de tubería pvc, 1 bomba solar sumergible de 15 W, 80 kg de tezontle y 25 peces guppys.

Se prevé además una captación de 4,608 g de CO<sub>2</sub> por cada sistema acuapónico de pequeña escala por cosecha, lo que significa que en un año se habrán captado 9,216 g de CO<sub>2</sub>.

### *Localización*

Como criterio de factor preferencial y las facilidades de acceso, el sistema acuapónico se colocó en el rancho Las Castellanas, el cual se ubica a 55 km al sur de la ciudad de La Paz. Se designó un área de 6 m<sup>2</sup> de superficie y se colocó en un lugar con media sombra.

## *Clima*

Como no se encontraron datos sobre esta ranchería exacta, se tomaron en cuenta los del ejido Melitón Albáñez, que, por su cercanía y condiciones geográficas muy similares, son muy representativos. Entonces se tiene que el área de localización presenta un clima oceánico, húmedo y relativamente fresco, con temperaturas anuales entre 15 y 29°C promedio y precipitaciones escasas.

## *Descripción del proceso de producción*

El modelo acuapónico que se utilizara es de sustratos. Este tipo de sistemas consiste principalmente en cultivar en contenedores llenos con algún material inerte que sirve de soporte a las plantas que se siembran y desarrollan en dicho contenedor. Las semillas son esparcidas directamente y es a través del riego constante o permanente de una bomba de agua que las semillas y plantas son provistas de la humedad y de los nutrientes que requieren de forma continua. Las plantas permanecen en este medio por cerca de 65 días, luego de los cuales pueden ser cosechadas.

## ANÁLISIS DE COSTOS

Uno de los primeros pasos de la evaluación fue la determinación de los costos involucrados, donde se especifican los costos de inversión, los de producción, gastos generales y las depreciaciones.

### *Inversión inicial*

A continuación, en la tabla 4 se detalla la inversión inicial para el establecimiento del sistema acuapónico de pequeña escala y su respectiva función dentro del sistema.

Tabla 4. Costos de inversión Sistema Acuapónico de pequeña escala para autoconsumo

Material	Costo en M.N.	Función
Tinaco de agua 600 litros	\$800.00	Se corta por la mitad y se rellena con tezontle. Sirve como germinadero, contenedor y soporte para las plantas.
Caja de plástico de uso rudo 100 gal	\$200.00	Se llena con agua dulce y sirve como contenedor para los peces. En esta caja además se coloca la bomba sumergible.

<p>Bomba solar sumergible 15 W</p>	<p>\$500.00</p>	<p>Una bomba pequeña que va conectada de forma directa a un panel solar y que omite el uso de acumuladores o baterías. Funciona solamente durante el día y es la encargada de subir el agua desde el contenedor de los peces hasta el contenedor de las plantas.</p>
<p>Tubería PVC hidráulica 1/2"</p>	<p>\$100.00</p>	<p>Su función únicamente es la de dirigir el agua suministrada por la bomba.</p>
<p>56 litros de tezontle</p>	<p>\$200.00</p>	<p>Sirven como sustrato inerte, refugio de semillas y sostén de soporte para las</p>

		plantas. Proporcionan también algunos minerales extra como zinc y calcio.
25 peces guppys o mollys vivos	\$250.00	Son pececillos de agua dulce, resistentes a altas poblaciones y a variaciones de temperatura, capaces de alimentarse de algas y organismos pequeños disueltos en el agua.
<b>TOTAL</b>	<b>\$2,050.00</b>	



Fig. 6. Los materiales requeridos para la instalación de un sistema acuapónico de autoconsumo propuesto.

### *Costos de funcionamiento*

Estos costos son los necesarios para que el sistema funcione durante un año y son estimativos ante los posibles eventos establecidos que se definen para el proceso productivo. Se especifican en la tabla 5.

Tabla 5. Costos de funcionamiento por un año.

Insumo	Unidad	Costo unitario \$ M.N.	Cantidad	Total
Agua potable	Litros	5.00	480	\$2,400.00
Semillas	g	10.00	20	\$200.00
Alimento peces	g	\$15.00	24	\$360.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$2,960.00</b>

*Gastos generales y de aporte de capital*

Se mencionan a continuación, en la tabla 6, aquellos gastos que tienen una relación indirecta, los cuales no dependen del proceso productivo, pero que forman parte de los gastos. A su vez, en la tabla 7, se menciona el aporte de capital.

Tabla 6. Gastos generales

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor anual
Mano de obra	Hora de trabajo	1	\$12.75	\$4,654.00
Depreciación del sistema	Anual	1	\$250.00	\$250.00
<b>Total</b>				<b>\$4,904.00</b>

Tabla 7. Aporte de capital

<b>Concepto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
Suelo (Parcela)	M2	1	\$1000
<b>Total</b>		<b>\$1000.00</b>	

### *Depreciación anual y valor residual*

En la tabla 8 se indican los valores de depreciación de los bienes y el valor residual considerando una evaluación del proyecto de 10 años.

Tabla 8. Depreciación anual y valor residual

<b>Concepto</b>	<b>Valor (M.N.)</b>	<b>Vida útil (años)</b>	<b>Depreciación anual (M.N.)</b>	<b>Valor residual a 10 años (M.N)</b>
Tinaco de agua 600 litros	\$800.00	30	\$27.00	\$530.00
Caja de plástico de uso rudo 100 gal	\$200.00	20	\$10.00	\$100.00
Bomba solar sumergible 15 W	\$500.00	2	\$250.00	\$2000.00
Tubería PVC hidráulica ½"	\$100.00	20	\$5.00	\$50.00
56 litros de tezontle	\$200.00	50	\$4.00	\$160.00
25 peces guppys o mollys vivos	\$250.00	50	\$5.00	\$200.00
<b>Total</b>			<b>\$301.00</b>	<b>\$3,040.00</b>

### *Reinversión*

A lo largo de la gestión del proyecto, existen bienes que se deben reponer, para lo cual es necesario hacer una reinversión cada determinado tiempo, según se detalla en la tabla 9.

Tabla 9. Reinversión de bienes

<b>Bien</b>	<b>Cada cuántos años se debe reponer</b>	<b>Valor (M.N.)</b>	<b>Tasa</b>	<b>Incremento de costo por año (M.N)</b>	<b>Sumatoria actualizada en 2 años</b>
Bomba solar sumergible 15W	2	\$500.00	9%	\$45.00	\$590.00

### *Evaluación económica*

Los ingresos brutos, que son los ingresos por la venta de espinacas (en este caso), se obtienen de la venta diaria de 20 plantas de espinaca a un valor de \$10.00 pesos la unidad, con lo que se obtiene un ingreso anual de \$73,000.00 pesos. El precio de la unidad fue calculado con base en el valor más bajo encontrado en los supermercados para la espinaca orgánica (\$15.00).

Tabla 10. Flujo de caja durante 10 años

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos brutos (M.N.)		\$73,000	\$73,000	\$73,000	\$73,000	\$73,000	\$73,000	\$73,000	\$73,000	\$73,000	\$73,000
Costos totales de producción		\$2,960	\$2,960	\$2,960	\$2,960	\$2,960	\$2,960	\$2,960	\$2,960	\$2,960	\$2,960
Gastos generales		\$4,904	\$4,904	\$4,904	\$4,904	\$4,904	\$4,904	\$4,904	\$4,904	\$4,904	\$4,904
Incremento de precios 9%		\$266	\$290	\$316.44	\$345	\$376	\$409	\$446	\$487	\$530	\$578
Ingreso neto		\$64,870	\$64,846	\$64,819	\$64,791	\$64,760	\$64,727	\$64,690	\$64,649	\$64,606	\$64,558
Depreciación		\$301	\$301	\$301	\$301	\$301	\$301	\$301	\$301	\$301	\$301
Inversión	\$2,050										

Reinversión	0	0	\$590	0	\$680	0	\$770	0	\$860	0	\$950
Aporte de capital	\$1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor residual											\$3,040
Flujo anual	-\$3,050	\$64,54	\$63,95	\$64,51	\$63,81	\$64,45	\$63,65	\$64,38	\$63,48	\$64,30	\$63,30
		5	5	8	8	9	6	9	8	5	7
<b>VAN</b>	<b>408,32</b>										
	<b>0</b>										
<b>TIR</b>	<b>91%</b>										

Esto implica que el proyecto es rentable, ya que el VAN es superior a 0, en tanto que la TIR indica que el proyecto soporta una tasa de descuento de hasta un 91%.

## RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

Se utiliza para conocer el monto de dinero ganado o perdido por cada peso invertido en el proyecto. A continuación, en la tabla 11 se puede apreciar el criterio de relación.

Tabla 11. Relación costo-beneficio

Año	Concepto	Ingreso y costos totales	Ingresos y costos actualizados (9%)
0	Inversión	\$3,050.00	\$3,050.00
1	Ingreso	\$73,000	\$64,870
	Costo	\$2,960	\$3,226
2	Ingreso	\$73,000	\$64,846
	Costo	\$2,960	\$3,250
3	Ingreso	\$73,000	\$64,819
	Costo	\$2,960	\$3,276
4	Ingreso	\$73,000	\$64,791
	Costo	\$2,960	\$3,305
5	Ingreso	\$73,000	\$64,760
	Costo	\$2,960	\$3,336
6	Ingreso	\$73,000	\$64,727

	Costo	\$2,960	\$3,369
7	Ingreso	\$73,000	\$64,690
	Costo	\$2,960	\$3,406
8	Ingreso	\$73,000	\$64,649
	Costo	\$2,960	\$3,447
9	Ingreso	\$73,000	\$64,606
	Costo	\$2,960	\$3,490
10	Ingreso	\$73,000	\$64,558
	Costo	\$2,960	\$3,538
<b>Total de beneficios actualizados</b>			<b>\$582,626.00</b>
<b>Total de costos actualizados</b>			<b>\$33,643.00</b>
<b>Relación B/C</b>			<b>17.31</b>

**De acuerdo con la tabla 11, se puede afirmar que, por cada peso invertido en el proyecto, se está ganando \$17.31**

Es sabido que los cultivos hidropónicos o en invernadero resultan bastante costosos en comparación con los cultivos convencionales a cielo abierto. Esto se debe a que por lo regular son cultivos comerciales en los que se requieren equipos eléctricos, principalmente bombas de gran capacidad para hacer circular el agua en las camas de cultivo o regar por aspersión. Otro factor que considerar son los grandes costos de inversión y mantenimiento que frecuentemente orillan al productor a buscar mercados extranjeros para costear los gastos.

En el caso de los sistemas acuapónicos de pequeña escala, el objetivo principal es el autoconsumo por parte de las comunidades locales y no la búsqueda de producción a

escala comercial. Sin embargo, como se puede apreciar en el análisis costo-beneficio, puede resultar una alternativa muy redituable para los productores que busquen cultivar determinadas hortalizas con un presupuesto bajo y con costos de mantenimiento mínimos.

Para este análisis se consideraron materiales ideales que fueron probados y demostrados en funcionamiento, pero la idea general es que una comunidad local utilice los materiales que tenga a su disposición para crear sus propios sistemas acuapónicos con costos todavía más bajos.

## **MESMIS**

De acuerdo con el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), se procedió a evaluar la sustentabilidad de los sistemas acuapónicos enfatizando el contexto de los productores campesinos y el ámbito local. Como referencia se utilizó una escala del 0 al 10, siendo 0 como NO se promueve en absoluto y 10 como SE promueve completamente. Para ello se realizó una comparación técnica, social y económica entre uno de los sistemas acuapónicos de pequeña escala destinados al autoconsumo y el cultivo convencional en tierra por la misma cantidad de producción.

En las tablas 12, 13 y 14, pueden apreciarse los resultados.

Tabla 12. Comparación técnica

<b>INDICADOR</b>  <b>0 no se promueve</b>  <b>10 se promueve</b>  <b>completamente</b>	<b>Sistema</b>  <b>acuapónico</b>  <b>de pequeña</b>  <b>escala</b>	<b>Cultivo</b>  <b>tradicional</b>  <b>por la misma</b>  <b>cantidad de</b>  <b>producción</b>
DIVERSIDAD DE CULTIVOS	8	6
TECNOLOGÍAS NO CONTAMINANTES Y/O ADAPTADAS AL SITIO	9	7
EMPOBRECIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA, SUELO Y LOS PRODUCTOS	0	8
USO DE AGROQUÍMICOS	0	8

Los sistemas acuapónicos de pequeña escala resultaron ser ambientalmente más viables que la realización de cultivos convencionales, no solo por el hecho de que no

se pueden usar agroquímicos por los peces, sino que además hay un mayor aprovechamiento del agua y menor impacto a los suelos.

Tabla 13. Comparación Social y seguridad alimentaria

<b>INDICADOR</b>  <b>0 No se promueve</b>  <b>10 Se promueve completamente</b>	<b>Sistema acuapónico de pequeña escala</b>	<b>Cultivo tradicional por la misma cantidad de producción</b>
PARTICIPACIÓN	9	8
ORGANIZACIÓN SOCIAL	8	8
DEPENDENCIA DE INSUMOS	1	5
SEGURIDAD ALIMENTARIA	8	5

En el caso de la comparación social y la seguridad alimentaria, los sistemas acuapónicos también resultaron tener la ventaja sobre los cultivos convencionales, pues se logró tener cosechas fuera de temporada. Además, no fue necesaria la introducción de fertilizantes de ningún tipo, por lo que no se dependió de insumos para

poder cultivar. En cuanto a la participación social, se consiguió apoyo por parte de la comunidad desde el ensamblaje del sistema, su manejo, alimentación de los peces, supervisión del sistema, resguardo contra animales de granja y su consecutiva cosecha.

Tabla 14. Comparación económica

<b>INDICADOR</b>  <b>0 No se promueve</b>  <b>10 Se promueve completamente</b>	<b>Sistema acuapónico de pequeña escala</b>	<b>Cultivo tradicional por la misma cantidad de producción</b>
RENTABILIDAD  COSTO-BENEFICIO	9	6
EMPLEO	6	8
DIVERSIFICACIÓN DE ACTIVIDADES  (Productos que se pueden obtener para aprovechamiento)	8	5

En lo relativo a la comparación económica, los sistemas acuapónicos de pequeña escala son más rentables y económicos a mediano y largo plazo que los cultivos convencionales. La inversión inicial de los cultivos convencionales es menor, pero los costos de mantenimiento y de insumos se van incrementando a medida que la producción va creciendo.

En lo que se refiere al empleo, se requiere más gente y mano de obra para trabajar los cultivos convencionales, pues el espacio para cultivar la misma cantidad de plantas que en un sistema acuapónico de pequeña escala es mayor.

Finalmente, en la diversificación de actividades, es decir, los productos que se pueden aprovechar son mayores en un sistema acuapónicos, pues además de la cosecha y semillas, pueden obtenerse peces, plántulas con raíz y lenteja de agua dulce si es añadida.

## CONCLUSIONES

- El sistema acuapónico de pequeña escala para autoconsumo ubicado en el rancho Las Castellanas demostró ser socioambiental, técnica y económicamente viable.
- Transferir la ecotecnología inicialmente fue difícil, pero a medida que se fue trabajando y requiriendo ayuda, la gente comenzó a integrarse, primero los niños y luego los adultos, hasta que lo adoptaron completamente.
- La gente no piensa en utilizar el sistema como reemplazo de su agricultura actual, sino como un beneficio añadido.
- El sistema acuapónico y los cultivos convencionales tienen la finalidad de producir hortalizas, pero los procedimientos de producción son diferentes y, por lo tanto, los costos de producción también son diferentes.
- La inversión inicial de un cultivo acuapónico es elevada en comparación a la inversión inicial realizada en un cultivo convencional. Sin embargo, a mediano y largo plazo resulta más rentable.
- Es recomendable que en cada lugar donde se pretenda el cultivo de hortalizas a través de un sistema acuapónico de pequeña escala se realice una prueba experimental de cultivo de distintas hortalizas en los distintos meses del año, tomando como referencia los cultivos convencionales de la zona.
- Cuando se agreguen las semillas a los sistemas acuapónicos de pequeña escala, es importante cubrir el sistema con alguna malla que impida la entrada a aves e insectos que puedan llegar a sustraer las semillas.
- En el caso de rancherías, los sistemas deben ser colocados en una zona donde se pueda supervisar su funcionamiento y a su vez es recomendable protegerlos con algún cerco que restrinja la entrada a animales de corral.
- Es importante continuar la experimentación y la colocación de más sistemas acuapónicos de pequeña escala en distintas regiones del estado, pues esto permitiría determinar las distintas hortalizas que se pueden cultivar en cada comunidad y concluir en un mapa o calendario de siembra adecuado.

- Los sistemas acuapónicos de pequeña escala podrían ser una alternativa viable en la producción de hortalizas para regiones impactadas en materia de suelo y agua y podrían promover producciones comunales para autoconsumo.
- Los sistemas acuapónicos de pequeña escala podrían ser adoptados por los grandes productores comerciales para disminuir costos de inversión, manejo y producción y al mismo tiempo disminuir el impacto a los recursos naturales.

## REFERENCIAS

- Alcántar, G.G. y Trejo, L.T. (2009). *Nutrición de Cultivos*. México. Mundi-prensa.
- ALPIZAR, A. (2008). *Hidroponía cultivo sin tierra, técnica simple*. Editorial Tecnológica de Costa Rica, pp. 104. Costa Rica
- Alvater, E. (08 de octubre de 2016). El Capital y el Capitaloceno. *CIECAS-IPN. IX, (33)*, p. 5.
- CARRASCO (1996). La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Talca, Chile. Universidad de Talca. 105 p.
- Cervantes-Santiago, A., Hernández, M.P. Y Pérez-Rostro, C.I. (09 de enero de 2016). Aprovechamiento de metabolitos nitrogenados del cultivo de tilapia en un sistema acuapónico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios. Vol. 03 (07) p.5*
- DIVER, S. (2006). *Aquaponics: Integration of Hydroponics with Aquaculture*.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006). *Guía de Nutrición de La Familia*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/008/y5740s/y5740s00.htm>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Recuperado de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_SP/La\\_agricultura\\_mundial.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf)
- FIGUEROA J. (2002). Agricultura Urbana en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: Situación de las Empresas Familiares Hidropónicas - Estudio de casos. Santiago, Chile. 31 p.

García, U.M., León, C., Hernández, F. y Chávez, R. (07 de enero de 2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en investigación agropecuaria*. Vol. 09 (001). p. 3.

INEGI. (2013) *Conociendo Baja California Sur*. Recuperado de [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/BCS.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/estudios/conociendo/BCS.pdf)

Ivanova A. y Gámez, A. (Eds.) (2012) *Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur*. La Paz, México. GEBCS.

MARULANDA (2003). Manual técnico: La Huerta Hidropónica Popular. 3ª ed. Santiago, Chile. 132 p.

Masera, O., Astier, M, y López-Riadura, S. (2000). *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales*. Recuperado de [http://www.researchgate.net/publication/31712300\\_Sustentabilidad\\_y\\_manejo\\_de\\_recursos\\_naturales\\_el\\_marco\\_de\\_evaluacion\\_MESMIS\\_O\\_Masera\\_Cerutti\\_M\\_Astier\\_S\\_Lopez-Ridaura](http://www.researchgate.net/publication/31712300_Sustentabilidad_y_manejo_de_recursos_naturales_el_marco_de_evaluacion_MESMIS_O_Masera_Cerutti_M_Astier_S_Lopez-Ridaura)

Mateus, J. 2009. Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. Red hidroponía, boletín No 44. Lima Perú.

Obregón, A. (2005). Calidad del agua y mantenimiento de acuarios. *Revista electrónica de veterinaria*. Vol. 6 (8). P 1 -11.

Ortiz, M. (06 de septiembre de 2015) Ecotecnología y sustentabilidad: una aproximación para el sur global. *Revista Interdisciplina*. Vol. 3 (7), p. 193.

Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P. y Hurtado, H. (01 de septiembre de 2008). La Acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Facultad de Ciencias Básicas. Vol. 4 (1) p. 32*

Ramírez, D. Sabogal, D. Ramirez, G, E. Calcicedo, R, D. Giraldo, H, H. 2009 .Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. Vol.5.Num 001 .p.154-170.*

UN-ISDR (2004). *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres.*  
Recuperado de, <http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>