

**INGENIERÍA EN DESARROLLO SUSTENTABLE CON ORIENTACIÓN
EN ECO-BIOLOGÍA**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN TRES
SISTEMAS DE CULTIVOS (ACUAPONÍA - RAÍZ FLOTANTE, LLUVIA SÓLIDA Y
SISTEMA TRADICIONAL)**

Tesis profesional

Que para obtener el título de:

Ingeniero en Desarrollo Sustentable con Orientación en Eco-biología

Presenta:

Adriana López Martínez

Asesor:

Bióloga. María Liliana Hernández Pérez

Generación:

2011-2016

Rafael J. García Chilchotla, Puebla, Noviembre del 2017.



La presente investigación titulada: **Estudio comparativo de la producción de hortalizas en tres sistemas de cultivos (acuaponía - raíz flotante, lluvia sólida y sistema tradicional)** fue realizado de acuerdo al Plan de Estudios de la **Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Chilchotla**, por la C. **Adriana López Martínez** bajo la dirección del Jurado Examinador indicado, siendo aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN DESARROLLO SUSTENTABLE CON ORIENTACIÓN EN ECO-BIOLOGÍA

Presidente

Biol. María Liliana Hernández Pérez

Secretario

Ing. Álvaro Rojas Moguel

Primer Vocal

MVZ. Noemí Pérez Mendoza

Rafael J. García Chilchotla, Puebla; Noviembre 2017

DEDICATORIA

A Dios y a la vida por todos mis logros y caídas, por todas las personas que conocí, y la hermosa familia que tengo.

A mi Madre (María Antonia Martínez Rodríguez) por darme la vida, por todos tus consejos, regaños, cariño, impulsarme, el apoyo incondicional y también las veces que te saco de quicio y por estar ahí cuando más te necesito.

A mi padre (Álvaro López López) por su apoyo y cariño durante mi formación, por impulsarme a lograr mis sueños.

A mis hermanos José Antonio, Guillermo, Luciano, Isai, Uri y Aquiles mis consejeros, amigos, los incondicionales, por todo su cariño, que a pesar de nuestras dificultades siempre estamos unidos, por todo el esfuerzo que hicieron para apoyarme para llegar hasta aquí.

A mi pequeña Zuriá porque en instantes cambiaste nuestras vidas y por enseñarme el verdadero significado de la valentía.

A Raúl Isai Caricio López gracias por estar en mi vida, por todo tu amor y cariño, apoyo absoluto e impulsarme a seguir mis sueños, por no dejarme caer ante las adversidades y por cuidarme cuando más lo necesito.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla por abrirme sus puertas durante mi formación y a mis docentes que formaron parte de la carrera.

A la Dra. María Lilitiana Hernández Pérez por su dedicación y paciencia durante mi formación por todo el conocimiento que me ha aportado, por el apoyo para realizar este trabajo y por la amistad que me ha brindado todos estos años.

Al Ing. Álvaro Rojas Moguel por su apoyo, consejos, por su amistad y confianza que me brindo, por formar parte de mi formación.

A la Mtra. Noemí Pérez Mendoza por aceptar ser parte de mi jurado, tener tiempo para revisar mi trabajo y también por su apoyo en el área acuícola de la Universidad.

Al personal de mantenimiento (Marcelino Tentle y Don Belén) por su apoyo y aportación de sus conocimientos en el área de las truchas.

A mis amigas y amigos Miguel Ángel Moreno González (mi amigo desde la infancia), Ana Laura Cruz, Mariana García, Janet Hernández, Nohemí, Omar Higuera, Wilians García, Ana Karen Ávila, por pasar tiempos inolvidables durante la carrera, por sus consejos, por los ánimos y a todas las personas que me brindaron su amistad.

A la Ing. María Concepción Hernández Luna por su amistad, sus sabios consejos y por el conocimiento que me aportó en la carrera.

A Irma López Juárez por todo el apoyo durante estos años y por estar al pendiente de mí.

A Agustina Rojas Bndala por apoyarme durante mi formación por sus cuidados, cariño, por estar al pendiente de mí, y por todo lo que hizo por mí. Muchas gracias.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE	III
ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
SUMMARY	XIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	6
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
IV.OBJETIVOS.....	10
4.1 Objetivo general.....	10
4.2 Objetivos específicos	10
V. HIPÓTESIS.....	11
VI. REVISION BIBLIOGRÁFICA	12
6.1 Marco teórico conceptual	12
6.1.1 Antecedentes agricultura tradicional.....	12
6.1.2 El uso del agua: La agricultura de riego.....	12
6.1.3 Desarrollo sostenible	13
6.2 Olericultura.....	15
6.2.1 Características de las hortalizas	16
6.2.3 Requerimientos para el desarrollo de las hortalizas	16
6.3 Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	18
6.3.1 Origen.....	18
6.3.2 Taxonomía y Morfología	19
6.3.3 Usos de la lechuga	19
6.4 Acelga – <i>Beta vulgaris</i> (Quenopodiaceas)	20

6.4.1 Origen.....	20
6.4.2 Taxonomía y Morfología	21
6.4.3 Usos de la acelga	22
6.5 Sistemas de producción integral sostenibles	22
6.5.1 Descripción de un sistema hidropónico	23
6.5.2 La acuaponía como sistema agroalimentario sostenible	25
6.5.3 Antecedentes de la acuacultura.....	25
6.5.4 Calidad del agua.....	26
6.5.6 Norma oficial mexicana 001 SEMARNAT-1996.....	26
6.5.6 Antecedentes de la acuaponía	27
6.5.7 Técnicas de cultivos acuícolas	28
6.5.8 Filtración biológica	28
6.5.9 Oxígeno disuelto.....	30
6.5.10 pH	30
6.5.11 Especies para cultivos	31
6.5.12 Ventajas y desventajas del sistema acuapónico.....	31
6.6 Antecedentes de la lluvia sólida	33
6.6.1 Ventajas y desventajas en el uso de lluvia sólida	34
6.7 Producción en sistema Tradicional o en Tierra	35
6.7.1 La Agricultura de Riego	35
6.7.2 Ventajas y desventajas	36
6.8 Marco teórico referencial.....	38
6.8.1 Hortalizas y su importancia económica.....	38
6.8.2 Valor nutricional y medicinal	38
6.8.3 Panorama de la acuacultura	39
6.8.4 Caracterización de la acuacultura en el Estado de Puebla.....	40
6.8.5 Importancia de la producción de trucha en el municipio de Chilchotla... 42	
6.8.6 Situación actual y perspectivas de la acuaponía a nivel mundial.	42
6.8.7 Situación actual y perspectivas de la acuaponía en México	42
6.8.8 Situación actual y perspectivas del uso de lluvia sólida en México	43
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	44

7.1 El área de estudio (Situación geográfica)	44
7.2 Materiales y métodos	46
7.3 Desarrollo metodológico	46
7.3.1 Diseño de tratamiento y diseño experimental	51
7.3.2 Variables	52
7.3.3 Análisis estadístico.....	52
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
8.1 Características de los sistemas de cultivo	53
8.2 Análisis de media proporcional de pH.....	53
8.3 Análisis de media proporcional a la variable altura de lechuga en la semana 1	55
8.4 Análisis de media proporcional a la variable altura y número de hojas de lechuga en la semana 3	57
8.5 Análisis de media proporcional a la variable altura, número de hojas y tamaño de raíz de lechuga en la semana 6	59
8.6 Análisis de media proporcional a la variable altura de Acelga en la semana 1	62
8.7 Análisis de media proporcional a la variable altura y número de hojas de Acelga en la semana 3.....	63
8.8 Análisis de media proporcional a la variable altura, número de hojas y tamaño de raíz de acelga en la semana 6	64
8.9 Altura de la planta	65
8.10 Análisis de varianza para la variable Número de Hojas	67
8.11 Análisis de varianza para la variable Tamaño de raíz.....	69
IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
9.1 Conclusiones.....	72
9.2 Recomendaciones	73
X. BIBLIOGRAFÍA	74
XI. BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL.....	78
XII. ANEXOS	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro. 1 Elementos principales para el desarrollo de las plantas	18
Cuadro. 2. Ventajas y desventajas de un sistema acuapónico (CICESE, 2008)..	32
Cuadro. 3. Descripción de los tratamientos en estudio	51
Cuadro. 4. Parámetros de la calidad del agua (CESAPUE)	54
Cuadro. 5. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable Altura de la planta	66
Cuadro 6. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable Numero de Hojas	68
Cuadro 7. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable Tamaño de Raíz	70
Cuadro. 8. Presupuesto de inversión de estructura de acuaponía	81
Cuadro. 9. Presupuesto de inversión de sistema de cultivo lluvia sólida.....	81
Cuadro. 10. Presupuesto de inversión por unidad.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	20
Figura 2. Acelga (<i>Beta vulgaris</i>)	22
Figura 3. Sistema de recirculación acuapónico	27
Figura 4. Ubicación del Municipio de Chilchotla Puebla	45
Figura 5. Ubicación de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla.....	45
Figura 6. Toma de medidas del estanque	47
Figura 7. Limpieza del estanque.....	47
Figura 8. Colocación de estructura de varilla.....	48
Figura 9. Llenado de estanque con agua de las truchas	48
Figura 10. Colocación de hule espuma en los orificios de la placa de unicel	48
Figura 11. Monitoreo de plantas en el estanque.....	49
Figura 12. Hidratación de Poliacrilato de potasio con agua de trucha.....	49
Figura 13. Hidratación de hidrogel con agua de trucha	49
Figura 14. Lluvia sólida impregnada en raíces de lechuga.....	50
Figura 15. Acondicionamiento de espacio	50
Figura 16. Plantas de lechuga y acelga semana 1	50
Figura 17. Estanque de la universidad	79
Figura 18. Placa con plantas de lechuga T1 semana 1	79
Figura 19. Placa de lechuga T1 semana 2	79
Figura 20. Placa de unicel con plantas de acelga T2 semana 2.....	79
Figura 21. Medición de pH por presencia de jabón	79
Figura 22. Monitoreo de raíces.....	79
Figura 23. Planta de acelga semana 6 T2	80
Figura 24. Plantas de acelga semana 6 T4	80
Figura 25. Plantas de lechuga T1 semana 6	80
Figura 26. Plantas de acelga T4 semana 6	80
Figura 27. Plantas de lechuga T3 semana 1	80

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Análisis de pH durante las 6 semanas	55
Gráfica 2. Media correspondiente a la variable Altura de la semana 1 en lechuga	56
Gráfica 3. Media correspondiente a la variable de número de hojas de la semana 1 en lechuga.....	56
Gráfica 4. Media correspondiente a la variable altura de la semana 3 en lechuga	58
Gráfica 5. Media correspondiente a la variable número de hojas de la semana 3 en lechuga.....	59
Gráfica 6. Media correspondiente a la variable Altura de la semana 6 en lechuga.	60
Gráfica 7. Media correspondiente a la variable número de hojas de la semana 6 en lechuga.....	61
Gráfica 8. Media correspondiente a la variable tamaño de Raiz de la semana 6 en lechuga.....	61
Gráfica 9. Media correspondiente a la semana 1, en color azul se presenta la media de la variable altura y en color verde la media de la variable Número de hojas en Acelga.....	63
Gráfica 10. Media correspondiente a la semana 3, en color azul se presenta la media de la variable Altura y en color verde la media de la variable Número de hojas en Acelga.....	64
Gráfica 11. Comparación de Media correspondiente a la semana 6, en color azul se presenta la media de la variable altura, en color verde la media de la variable número de hojas y en color amarillo tamaño de Raíz en acelga.....	65
Gráfica 12. Análisis de la altura de las hortalizas en los diferentes tipos de cultivo	67
Gráfica 13. Resultados de número de hojas	69
Gráfica 14. Resultados de tamaño de raíz.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Prueba de rango multiple de Tukey para la variable de Altura de plantas	66
Tabla 2. Prueba de rango multiple de Tukey para la variable de Número de Hojas	68
Tabla 3. Prueba de rango multiple de Tukey para la variable Tamaño de Raiz....	70

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CESAPUE	Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Estado de Puebla
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca
DDR	Distrito de Desarrollo Rural
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
NFT	Sistema de Solución Nutritiva Recirculante
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
SEMARNAT	Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales
SC	Sistema de Cultivo
T	Tratamiento

RESUMEN

En México la agricultura como actividad primaria, ha sufrido una serie de cambios que han favorecido la producción de alimentos en nuestro país, pero por otro lado, esta actividad es la que mayormente representa un gran impacto ambiental debido a la cantidad de agua que se requiere así como la contaminación de la misma por el uso de agroquímicos. Con lo anterior a nivel mundial y con la creciente demanda de alimentos saludables e inoctrinos se han buscado nuevas técnicas para la producción de dichos alimentos con el fin de aminorar el impacto al medio ambiente.

La creciente demanda de alimento de buena calidad para una sociedad en continuo crecimiento, aunada a la necesidad de desarrollar tecnologías intensivas de producción, conlleva a la incorporación de políticas de sustentabilidad en el sector agropecuario, y en particular en el sector acuícola, en el que se incluye el reciclado de agua y aprovechamiento de los metabolitos nitrogenados.

En municipio de Chilchotla Puebla, se caracteriza por ser una zona truchera y con suficiente crecimiento de agua, este municipio cuenta con 108 productores, dedicados a esta actividad y en su mayoría cuenta con ciclos completos de producción, debido a esto se ha generado una problemática por desechos que origina dicha actividad, mismos que no son aprovechados y que representan una alternativa de recirculación de agua y con esto aprovechar algunos nutrientes y evitar el gasto de agua que se tiene en el sistema tradicional.

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla, Chilchotla que cuenta con trucheros, de los cuales se aprovecharon los desechos generados para el establecimiento los tratamientos utilizados en el estudio.

Se compararon tres sistemas de cultivo (sistema acuapónico - raíz flotante, poliacrilato de potasio e hidrogel (lluvia sólida) y un sistema tradicional "control") para la producción de hortalizas, utilizando acelga y lechuga, en donde se evaluaron 6 tratamientos con 10 repeticiones, analizando las siguientes variables:

altura de planta, número de hojas, tamaño de raíz; donde se obtuvieron los siguientes resultados: en la variable Altura de la planta los tratamientos que presentaron un mayor tamaño en cuanto a Altura se refiere: Tratamiento 3 (lluvia sólida – lechuga) y el Tratamiento 4 (lluvia sólida -acelga), en cuanto a la variable número de hojas se determinó que el Tratamiento 1 (acuaponía – lechuga) y Tratamiento 3 (lluvia sólida - lechuga) presentaron un mayor número de hojas desarrolladas, y en cuanto a la variable tamaño de raíz, se detectó que el Tratamiento 3 (lluvia sólida – lechuga) presentó mayor crecimiento radicular. En cuanto al tratamiento no presentó un buen desarrollo. Por lo tanto y de acuerdo a los resultados, el tratamiento que presentó mejores condiciones de crecimiento, durante las 6 primeras semanas fue lluvia sólida - Lechuga.

Palabras clave: Calidad, Agua, Sustentabilidad, Acuícola, Desechos Orgánicos, acuaponía, Poliacrilato de Potasio, Lluvia Sólida, Lechuga, Acelga.

SUMMARY

In Mexico, agriculture as a primary activity has undergone a series of changes that have favored the production of food in our country, but on the other hand, this activity is the one that mostly represents a great environmental impact due to the amount of water required. as well as the contamination of it by the use of agrochemicals. With the aforementioned worldwide and with the growing demand for healthy and safe food, new techniques have been sought for the production of such foods in order to reduce the impact on the environment.

The growing demand for good quality food for a society in continuous growth, coupled with the need to develop intensive production technologies, leads to the incorporation of sustainability policies in the agricultural sector, and in particular in the aquaculture sector, in which it includes the recycling of water and the use of nitrogen metabolites.

In the municipality of Chilchotla Puebla, it is characterized as a trout area and with sufficient growth of water, this municipality has 108 producers, dedicated to this activity and mostly has complete production cycles, due to this a problem has been generated by waste that originates this activity, which are not used and represent an alternative recirculation of water and with this take advantage of some nutrients and avoid the expense of water that is in the traditional system.

The study was carried out in the facilities of the Interserrana University of the State of Puebla, Chilchotla, which has trout, from which the waste generated for the establishment of the treatments used in the study was used. Three farming systems were compared (aquaponic system - floating root, potassium polyacrylate and hydrogel (solid rain) and a traditional "control" system) for the production of vegetables, using chard and lettuce, where 6 treatments with 10 repetitions were evaluated , analyzing the following variables: plant height, number of leaves, root size; where the following results were obtained: in the variable Height of the plant,

the treatments that presented a larger size in terms of height were: Treatment 3 (solid rain - lettuce) and Treatment 4 (solid rain - chard), in terms of the variable number of leaves was determined that Treatment 1 (aquaponics - lettuce) and Treatment 3 (solid rain - lettuce) had a greater number of developed leaves, and as for the variable root size, it was detected that Treatment 3 (solid rain - lettuce) showed greater root growth. As for the treatment, it did not show good development. Therefore, and according to the results, the treatment that presented the best growth conditions during the first 6 weeks was solid rain- Lettuce.

Keywords: Quality, Water, Sustainability, Aquaculture, Organic Waste, Aquaponics, Potassium Polyacrylate, Lettuce, Chard.

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial va en aumento a una tasa de aproximadamente 1.2% al año y se espera que aumente a 9 000 millones de habitantes en el año 2030 (FAOWATER, 2008).

Por consecuencia es importante implementar nuevas técnicas de producción de alimentos que aseguren la alimentación de las futuras generaciones de manera tal que sean alimentos inocuos y de excelente calidad, que estén libres de pesticidas, materiales tóxicos, metales pesados y evitan la generación de enfermedades digestivas debido al riego con aguas negras.

Por consecuencia es urgente buscar técnicas de producción de alimentos, no solo para producción, sino que también más saludables. Se han buscado nuevas técnicas, alimentos libres de pesticidas, contaminados con materiales tóxicos o metales pesados, o regados con agua negras. Ya que esto último origina múltiples problemas gastrointestinales e inclusive la muerte.

La agricultura representa alrededor del 70% del uso mundial de agua, principalmente para la producción de alimentos, fibras y para el procesado de productos agrícolas. Cuando las lluvias son insuficientes para mantener los cultivos, el riego se hace necesario y aumenta el costo de las operaciones agrícolas.(Winpenny,Henz & koo-Oshma, 2013).

Para la producción de hortalizas se destina el 75 % del agua disponible, esta escasez de agua origina la necesidad de utilizar para riego fuentes alternativas como son las aguas residuales.

La FAO (1996) y Graizbord, (2004) señalan que la agricultura es la actividad productiva más demandante e ineficiente en el aprovechamiento del recurso hídrico, ya que producir alimentos requiere un consumo de 2000 a 20 000 m³ por

ha. y por ciclo agrícola, dependiendo de las preferencias en el consumo de la población, clima y eficiencia de los sistemas locales de producción.

El sector agropecuario en México ha sufrido una serie de cambios y adaptaciones a lo largo de los años, tanto por modificaciones en las condiciones de la tierra, las variaciones en el clima y los cambios en las demandas de la sociedad. En ocasiones esto se ha hecho al modificar las prácticas de manejo de las unidades agropecuarias y por la sustitución de cultivos o razas, entre otras causas. El cambio climático revive este reto y las medidas analizadas en este trabajo dejan claro que existen los elementos para afrontarlo. (SAGARPA, 2012).

En el futuro, una cuestión clave será si en las próximas décadas la escasez de agua será un serio impedimento para la producción de alimentos.

Mucha gente piensa que conoce la respuesta: argumentan que la reserva mundial de agua renovable es constante y por tanto no puede ser incrementada; consecuentemente, los recursos hídricos per cápita disminuyen a medida que aumentan la población y las necesidades; además, una gran parte del agua del mundo es mal gastada sin control en regadíos ineficaces, muchos con extracciones insostenibles de aguas subterráneas. (FAO, 2002).

Aunque puede hacerse mucho para incrementar la relación entre los rendimientos de los cultivos y el agua utilizada en la agricultura, actualmente los mayores esfuerzos se dirigen a la agricultura bajo riego, que depende principalmente del agua superficial de los ríos o del agua subterránea de los acuíferos. Muchos países en desarrollo dependen extremadamente del riego. Un estudio realizado por la FAO en 93 países en desarrollo, se observó que en 18 de ellos la agricultura de regadío ocupa más del 40 por ciento del área cultivable; otros 18 países riegan entre el 20 y el 40 por ciento de su área cultivable (FAO, *Agricultura Mundial: hacia 2015-2030*).

México cuenta con una gran variedad de elementos y recursos naturales, el relieve del territorio mexicano presenta una conformación irregular y en buena parte

accidentada, posee climas que van desde el tipo frío hasta el tropical, lo que permite que junto con el relieve y otros elementos del medio natural exista gran variedad de comunidades vegetales.

En el estado de Puebla la situación geográfica y la diversidad de alturas y regiones naturales, han conferido al Estado de Puebla una integración climatológica de las más variadas del país.

Considerando las características del territorio identificadas por Gutiérrez *et al.* (2010), el Estado de Puebla se divide en 15 regiones naturales, a partir de esta división se identificaron territorialmente las fuentes de disponibilidad de agua superficial y subterránea en la entidad.

En el Estado, 24.84 por ciento del agua destinada a los diferentes usos es subterránea y 75.16 por ciento es superficial. De acuerdo con el balance hidrológico global para el Estado, se estima que la cantidad total de agua que ingresa, así como el volumen que sale de él no se pierde, revela un excedente disponible de agua superior a los 5,000 m³; sin embargo, el volumen no se encuentra uniformemente distribuido, pues mientras algunas zonas, como la Sierra Norte, cuentan con abundantes corrientes superficiales, en la porción sur y área de la mixteca son escasas, de poco caudal y son casi totalmente aprovechadas para el riego agrícola, aunque representan problemas de contaminación.(PADHPOT, 2010).

En la agricultura tradicional la mayor parte de las hortalizas requieren de humedad uniforme durante todo el ciclo, por lo tanto, es importante que esté disponible en todo momento. Además, de la disponibilidad del agua se debe contar con suficiente cantidad de la misma, de no existir esto, el agricultor recurre al uso de aguas negras. (UNESCO, 2001).

Producción acuícola:

Puebla es un estado sin litorales que ocupa el segundo lugar en producción acuícola de trucha y tilapia lo que representa una producción de 1082 toneladas, en 123 granjas, únicamente para estas especies. (Sagarpa, 2016).

El municipio del Chilchotla ocupa el quinto lugar a nivel estado en producción de trucha contando con aproximadamente 108 productores de trucha (SAGARPA, 2013), anualmente se liberan 65 toneladas de desperdicios sólidos a los cuerpos de agua (Fundación produce Puebla A.C)

Según la norma NOM -001-SEMARNAT-1996 es importante garantizar la calidad del agua de los ríos que alimentan las unidades de producción de trucha y que reciben las descargas de sus aguas residuales antes que se viertan para reducir sus contaminantes a los niveles aceptables.

La acuicultura es una actividad que abarca muy variados aspectos y una amplia gama de especies, sistemas y prácticas y resulta indudable que a pequeña escala, promueva el desarrollo socio-económico y cumpla los objetivos de producción de alimentos, generación de ingresos, y provisión de empleo para los agricultores de escasos recursos. (Hernández, Aguirre, & López, 2009).

La mayoría de los residuos orgánicos biodegradables, en cantidades limitadas solo pueden servir como fertilizantes y colaborar a la productividad de las instalaciones de acuicultura. (FAO, 1984).

Uno de los retos de la producción acuícola intensiva es el manejo del agua residual, que puede contener residuos sólidos en suspensión y moléculas tóxicas en solución, desechos químicos de las excretas, alimento no consumido y medicamentos, entre otros (Amirkolaie, 2011).

Una vez que el agua es utilizada en las actividades acuícolas, por lo general se descarga en suelos o en cuerpos de agua adyacentes sin un previo tratamiento, lo que provoca diversos impactos en el ambiente. Debido a ello, es importante la implementación de sistemas de recirculación acuícola (SRA) como alternativas para mitigar los efectos negativos que provocan este tipo de actividades (SEMARNAT, 2005).

No es necesario disponer de un terreno muy grande ni invertir mucho dinero, agua, luz puesto que en pequeños espacios se pueden establecer diversos sistemas de cultivo y producir nuestro propio alimento.

De acuerdo a lo anterior se realizó un estudio comparativo de la producción de hortalizas en tres sistemas de cultivos, (Raíz flotante, Lluvia sólida y Tradicional). Donde se evaluó el crecimiento y desarrollo de hortalizas en los tres diferentes sistemas, aprovechando como fuente de nutrientes, el agua de trucha de la unidad acuícola de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla.

II. JUSTIFICACIÓN

En años recientes se ha incrementado la preocupación del sector público por la inocuidad de los alimentos para el consumo humano. Esto se debe en parte, a los casos de intoxicación y transmisión de enfermedades por el alimento y los fraudes que han ocurrido en diferentes países sobre la calidad de los alimentos para consumo humano.

La calidad al producir hortalizas es un tema muy importante, debido a que los efectos tradicionales de las actividades primarias, en particular los cambios en el uso del suelo, el desperdicio y contaminación del agua, son temas importantes al consumir estos alimentos.

La disponibilidad de recursos hídricos está intrínsecamente ligada a la calidad del agua, ya que la contaminación de las fuentes de agua puede excluir diferentes usos. El aumento en los vertidos de aguas residuales sin tratar, junto con la escorrentía (flujo de agua) de tierras agrícolas y las aguas residuales industriales con tratamiento inadecuado, han llevado al deterioro de la calidad del agua en el mundo. Si las tendencias actuales perduran, la calidad del agua continuará deteriorándose en las próximas décadas, especialmente en los países de bajos recursos y específicamente en zonas áridas, poniendo así aún en mayor riesgo la salud humana y los ecosistemas (CEPAL, 2016).

La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, las opciones de medios de subsistencia y las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo. La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición (CEPAL, 2016).

Uno de los principales problemas en la producción tradicional es el costo de producción, las labores de cultivo y la disponibilidad de agua. En la actualidad existen diferentes métodos de producción que hacen más fácil y económicamente más barato el proceso de producción para autoconsumo.

En el municipio de Chilchotla Puebla predomina la producción acuícola (FUNDACION PRODUCE A.C., 2011) y uno de los principales problemas son las descargas de agua con desechos de las truchas, lo que provoca una contaminación descontrolada del recurso hídrico, por lo tanto es importante incluir alternativas para reducir esta contaminación, proponiendo sistemas de producción, reutilizando el agua de trucha y así mismo aprovechar los nutrientes que posee, tomando como objeto de estudio tres sistemas de producción acuaponía-raíz flotante, lluvia sólida y el Sistema tradicional, en la producción de hortalizas.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática sobre la producción de alimentos y de la calidad ha incrementado en las últimas décadas, debido a que la mayoría de las hortalizas que se consumen son producidas con sistemas de riego y en algunas ocasiones estos sistemas de riego provienen de aguas negras, lo que ha causado diferentes enfermedades al humano al consumir estos alimentos.

Cabe mencionar que en algunas regiones la tierra de cultivo es de temporal, es decir, no cuenta con uso de riego, teniendo así, severos problemas en la escasez del recurso hídrico presentando sequías. Por otra parte, en algunos lugares donde hay más cuerpos de agua, existe un desmedido desperdicio y contaminación del agua, estos problemas conducen a producir alimentos insuficientes y en algunas veces de mala calidad.

En la actualidad la calidad de las hortalizas influye principalmente en la aceptación del consumidor, para obtener un buen alimento depende desde la producción, debido a que muchos cultivos son regados con agua negra ocasionando múltiples problemas a la salud (FAO, 2017).

Las poblaciones en general no tienen, una cultura de producción de ciertas variedades vegetales para autoconsumo, desaprovechando los espacios disponibles. Es necesario generar una cultura de cultivo de alimentos saludables (libres de plaguicidas, metales pesados y otros contaminantes), que además de tener un bajo impacto ambiental sean de fácil cuidado y con un uso óptimo de agua disponible para riego.

El municipio del Chilchotla ocupa el quinto lugar a nivel estado en producción de trucha contando con aproximadamente 108 productores de trucha (SAGARPA, 2013), anualmente se liberan 65 toneladas de desperdicios sólidos a los cuerpos de agua (Fundación produce Puebla A.C) debido a esto existe un desmedido desperdicio y contaminación de agua por las heces de las truchas, como una alternativa a este problema se espera darle un aprovechamiento adecuado al

agua y principalmente a los nutrientes que posee, para la producción de hortalizas optimizando el uso del agua, evaluando tres sistemas de producción.

Es importante señalar que las tres formas de producción no solo puede beneficiar a un lugar en específico, sino, que sean alternativas adaptables a cualquier lugar, como en el caso del sistema de producción acuapónico - raíz flotante, beneficiaria a las regiones que tengan producciones acuícolas, los productores tendrían doble beneficio económico directo, por un lado la venta de trucha y por otro la producción de hortalizas para autoconsumo, además de disminuir el impacto ecológico de la producción truchera al incluir este sistema, recirculando así, el agua con excretas de los peces.

En el caso de la lluvia sólida (Poliacrilato de potasio) el cual consiste en utilizar hidrogel, sustituyendo el agua hasta un 50 %, debido a que tiene gran capacidad para almacenar y retener agua, hidratándolo con agua de trucha como fuente de nutrientes y mezclado con tierra para darle soporte a las plantas.

Estos dos sistemas de producción se comparan con un sistema tradicional de producción, donde estos tres sistemas de producción sean una alternativa que se utilice tanto en lugares donde existe abundancia de agua y en lugares en donde este recurso es escaso.

IV.OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- ❖ Comparar tres sistemas de cultivo de hortalizas (Raíz flotante, Lluvia sólida y tradicional), aprovechando como fuente de nutrientes, el agua de trucha de la unidad acuícola de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla.

4.2 Objetivos específicos

- * Evaluar el uso del agua de trucha como fuente de nutrientes.
- * Evaluar la producción de lechuga y acelga mediante la técnica de raíz flotante- acuaponía.
- * Evaluar la producción de lechuga y acelga mediante la técnica de lluvia sólida.
- * Evaluar la producción de lechuga y acelga mediante un sistema tradicional.
- * Comparar los tres sistemas de cultivo para la producción sostenible de lechuga y acelga.

V. HIPOTESIS

- ❖ El agua de trucha de la unidad acuícola de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla, contiene los nutrientes necesarios para la producción de hortalizas.
- ❖ El uso de excretas presentes en el agua de trucha contendrá los nutrientes necesarios para ser utilizado como fertilizante para hortalizas independientemente del sistema de producción.
- ❖ El sistema de lluvia sólida es la mejor opción sostenible para la producción de hortalizas, al disminuir el uso y la cantidad de agua comparado con el sistema tradicional.
- ❖ El sistema de acuaponía es la mejor opción sostenible para la producción de hortalizas ya que es una forma de cultivo orgánico y de bajo costo, a la compararse con el sistema tradicional.

VI. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

6.1 Marco teórico conceptual

6.1.1 Antecedentes agricultura tradicional

Los cambios mas importantes y la experiencia que se ha pasado en generaciones datan desde el año 8000 a.C. por lo cual la agricultura es considerada una de las actividades mas antiguas y mas importantes que ha practicado el ser humano civilizado, y que ha permitido mejoras en diversas areas relacionadas con la practica agricola.

La agricultura tradicional desarrolló diferentes métodos basados en la observación de la naturaleza. Dichos procesos eran de carácter ritual y simbolico aprendidos por generaciones. Muchos logros que obtuvieron fueron resultado de practicas no intencionadas, las cual mas tarde eran repetidas para obtener cosechas con las mismas características. (An ecological history of agriculture, Iona Stace university press, 1992).

6.1.2 El uso del agua: La agricultura de riego

El agua tiene múltiples formas de utilización, las cuales van desde el consumo humano y el industrial hasta el riego agrícola y la producción de energía. Entonces vemos que, un determinante en el surgimiento de las grandes civilizaciones ha sido el riego, siendo así un elemento importante en una actividad productiva de la cual se obtiene la alimentación de un país: la agricultura. Por ello es que se comenta que el valor del recurso va adquiriendo más relevancia conforme se diversifica su uso, entre más escaso y necesario sea tiende a adquirir mayor valor, cuando esta situación se generalice el uso del agua para riego tendrá que ser más eficiente para que pueda satisfacer todas las necesidades (FIRA, 1998).

6.1.3 Desarrollo sostenible

El lento crecimiento económico mundial, las desigualdades sociales y la degradación ambiental son características de nuestra realidad actual, presentan desafíos sin precedentes para la comunidad internacional. En efecto, estamos frente a un cambio de época: la opción de continuar con los mismos patrones ya no es viable, lo que hace necesario transformar el paradigma de desarrollo actual en uno que lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo (CEPAL, 2016).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, es una nueva visión en la expresión de los deseos, aspiraciones y prioridades de la comunidad internacional para los próximos 15 años. La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar el estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente. Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático (CEPAL, 2016).

6.1.3.1 Objetivos del desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible promueve e incluye 17 objetivos presentando una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental, a continuación se mencionan los más relevantes que influyen en la agricultura sostenible y el recurso hídrico.

1.- Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

Si se hace bien, la agricultura, la silvicultura y las piscifactorías pueden suministrarnos comida nutritiva para todos y generar ingresos decentes, mientras se apoya el desarrollo de las gentes del campo y la protección del medio ambiente.

Pero ahora mismo, nuestros suelos, agua, océanos, bosques y nuestra biodiversidad están siendo rápidamente degradados. El cambio climático está poniendo mayor presión sobre los recursos de los que dependemos y aumentan los riesgos asociados a desastres tales como sequías e inundaciones. Muchas campesinas y campesinos ya no pueden ganarse la vida en sus tierras, lo que les obliga a emigrar a las ciudades en busca de oportunidades.

Necesitamos una profunda reforma del sistema mundial de agricultura y alimentación si queremos nutrir a los 925 millones de hambrientos que existen actualmente y los dos mil millones adicionales de personas que vivirán en el año 2050.

El sector alimentario y el sector agrícola ofrecen soluciones claves para el desarrollo y son vitales para la eliminación del hambre y la pobreza.

2.- Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, así como, el saneamiento para todos.

El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. Hay suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño.

La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, las opciones de medios de subsistencia y las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo. La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición.

Para 2050, al menos una de cada cuatro personas probablemente viva en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce.

3.- Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible

Los océanos del mundo su temperatura, química, corrientes y vida mueven sistemas mundiales que hacen que la Tierra sea habitable para la humanidad.

Nuestras precipitaciones, el agua potable, el clima, el tiempo, las costas, gran parte de nuestros alimentos e incluso el oxígeno del aire que respiramos provienen, en última instancia del mar y son regulados por este. Históricamente, los océanos y los mares han sido cauces vitales del comercio y el transporte.

La gestión prudente de este recurso mundial esencial es una característica clave del futuro sostenible.

6.2 Olericultura

Se define como: rama de la horticultura que estudia el cultivo de las plantas herbáceas de las cuales sus raíces, bulbos, tubérculos, tallos, hojas, brotes, flores, frutos o “semillas” son utilizados como alimento ya sea en fresco, cocidas o preservadas. En cambio, por sus raíces latinas olericultura se define como el cultivo de las plantas para ser cocinadas. Comprende el estudio de las plantas que comúnmente conocemos como hortalizas, verduras o legumbres; por ejemplo, tomate, papa, col, lechuga, chícharo, chile, cilantro, etc., siendo el término hortalizas el cual usaremos para referirnos a estas plantas. (Bacópulos, 2001).

6.2.1 Características de las hortalizas

Valadez (1990) consideró que las hortalizas tienen características generales y específicas de las cuales, citó las siguientes:

Características generales:

- * Sus órganos son suculentos y tiernos con alto contenido de celulosa y bajo contenido de lignina.
- * Por lo general, son de tamaño pequeño.
- * En las hortalizas es más importante la calidad que la cantidad.
- * Tienen ciclos agrícolas muy cortos.

Características específicas.

- * Las hortalizas son muy sensibles al manejo y por lo tanto factores como la textura de suelo, el suministro del agua, el pH del suelo, la nutrición, la producción de trasplantes, etc. Son muy importantes para alcanzar el éxito en la explotación comercial de este tipo de cultivos.
- * Prácticamente, se adaptan a todas las condiciones climáticas.
- * Tienen alto valor nutritivo.
- * Su modo de consumo es variado.
- * Son generadoras de empleo, por demandar gran cantidad de mano de obra.
- * Por su ciclo agrícola corto, la inversión se recupera rápidamente.

6.2.3 Requerimientos para el desarrollo de las hortalizas

Las plantas, al igual que todo sistema viviente, crecen y necesitan nutrientes, los elementos principales que las plantas requieren para su desarrollo son Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Azufre (S) y Magnesio (Mg). Además de Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O), entre otros. Todos estos elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas en general. Muchos de ellos se encuentran en el suelo otros han sido añadidos por el agua de lluvia y la descomposición de plantas y tejido animal.

Sin embargo, el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo. Los agricultores, jardineros y cultivadores de plantas, cuando requieren un crecimiento rápido aplican fertilizantes orgánicos o químicos para suplementar los nutrientes liberados por el suelo (Thomson y Trohe, 1988). La utilización de fertilizantes orgánicos aporta al suelo los macronutrientes y micronutrientes, que permite optimizar aún más el rendimiento de las plantaciones sin provocar efectos secundarios (Alvares, 2009).

En las plantas los nutrientes minerales son elementos incorporados principalmente en forma de iones inorgánicos, tras su absorción por las raíces, los nutrientes minerales son distribuidos a diferentes partes de la planta para su utilización en importantes funciones biológicas. Otros organismos como los hongos micorrizas, bacterias fijadoras del nitrógeno, participan en asociación simbiótica con los sistemas radiculares en la adquisición de nutrientes. El criterio utilizado para definir un elemento esencial es que sea requerido para que la planta complete su ciclo de vida, por lo que un elemento esencial no puede ser reemplazado por otro. Generalmente, los elementos nutrientes se agrupan acorde con las cantidades que las plantas necesitan de ellos en macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), micronutrientes (Azufre, Calcio y Magnesio) y micro elementos (Hierro, Zinc, Cobre, Manganeso, Boro, Cloro y Molibdeno). Con excepción del nitrógeno, todos derivan de las rocas y suelen ser captados de la solución del suelo. (Cuadro 1).

Elemento	Forma absorbida	Funciones principales
Macronutrientes		
Nitrógeno (N)	NO ₃ ⁺⁺ y NH ₄ ⁺	Componente de proteínas , ácidos nucleicos, etc.
Fosforo (P)	H ₂ PO ₄ y HPO ₄	Componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, ATP (transferencia de energía).
Potasio (K)	K ⁺	Activación enzimática, equilibrio hídrico, iónico, apertura estomática.
Micronutrientes		
Azufre (S)	SO ₄ ⁻	En proteínas y coenzimas.
Calcio (Ca)	Ca ²⁺	Componente cementante de las paredes celulares. Participa en la permeabilidad de la membrana y elongación celular.
Magnesio (Mg)	Mg ²⁺	Activador de enzimas que participan en la fotosíntesis, reparación y síntesis de ADN y ARN.

Cuadro. 1 Elementos principales para el desarrollo de las plantas

6.3 Lechuga (*Lactuca sativa*)

6.3.1 Origen

El origen de la lechuga no está bien definido, algunos sostienen que es un cultivo procedente de la India y otros, como Vavilov, apuntan como origen el Oriente Próximo, el nombre científico de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) deriva de la raíz "lac" que significa "leche" y "sativa" que originalmente quiere decir "procedente de semilla" o "cultivada". La lechuga cultivada en Europa, es probable que provenga de la selección de individuos procedentes del cruzamiento entre distintos tipos de lechuga silvestre realizada en algunas zonas del sur de Italia (SOLAGRO, 2008).

6.3.2 Taxonomía y Morfología

Familia: Compositae.

Nombre Científico: *Lactuca sativa*

Nombre Común: Lechuga (español), lettuce (inglés), laitue (francés), lattuga (italiano).

Clasificación:

La lechuga es una planta anual que pertenece a la familia Compositae y corresponde a la especie *Lactuca sativa*, presenta una gran diversidad genética ya que existen diferentes tipos de especies caracterizados por sus diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento en las plantas.

Por lo anterior las lechugas se clasifican en diferentes especies dentro de las cuales se encuentran la de hoja suelta *Lactuca sativa var. crispa*, conocidas como escarolas ya que sus hojas son numerosas y de borde irregularmente recortado (crespo); y las lechugas de cabeza *Lactuca sativa var. capitata Janchen* que presentan hojas lisas, orbiculares y de textura suave o mantecosa con hojas internas que forman un cogollo amarillento al envolver a las más nuevas, formando una cabeza (PROMOSTA, 2005).

6.3.3 Usos de la lechuga

La lechuga es conocida y cultivada en todo el mundo. La lechuga es un producto que tiene un alto contenido en agua y además posee un bajo valor energético, por lo que se puede utilizar en dietas hipocalóricas. Es rica en antioxidantes como la vitamina A, C, E, B1, B2, B3 y minerales (fósforo, hierro, calcio, potasio). Las hojas de la lechuga tienen propiedades diuréticas, ya que estimulan la eliminación de líquidos desde el organismo. Este producto ayuda a mejorar la circulación sanguínea y además ayuda a reducir los niveles de colesterol en la sangre. El ácido fólico que aporta la lechuga contribuye a tratar o prevenir anemias. Tiene efectos tranquilizantes, por lo tanto calma los nervios y controla los problemas de

insomnio. La lechuga es una hortaliza que se consume en fresco, principalmente en ensaladas. (AGROLANZAROTE, 2012).



Figura 1. Lechuga (*Lactuca sativa*).

6.4 Acelga – *Beta vulgaris* (Quenopodiaceas)

6.4.1 Origen

Se tienen referencias escritas que sitúan a la acelga en las regiones costeras de Europa y del norte de África bañadas por el mar Mediterráneo y en las Islas Canarias, dotadas de un clima templado adecuado para una planta a la que le perjudicaba bastante los cambios bruscos de temperatura. Parece ser que fueron los árabes quienes, a partir de la Edad Media, comenzaron a cultivarla y descubrieron las auténticas propiedades medicinales y terapéuticas de esta planta. Resulta curioso que la acelga, una verdura tan utilizada como planta medicinal desde hace siglos por árabes, griegos (Aristóteles hace mención de la acelga en el siglo IV A.C.) y romanos, se considere en la actualidad una verdura ordinaria, de pobre categoría. Las razones de este desprestigio pueden obedecer a la facilidad de su cultivo o a su abundancia en el mercado. La introducción a los Estados Unidos fue en el año de 1806, la acelga presenta una diversidad limitada, esto se refleja en el escaso número de variedades cultivadas. Su clasificación se establece en función del color, el tamaño de sus hojas y pecíolos o pencas (GARCIA, 2013).

6.4.2 Taxonomía y Morfología

Familia: Quenopodiáceas

Especie: *Beta vulgaris* L. var. *Cicla* (L.).

Las numerosas hojas que posee son enteras y pecioladas y están dispuestas en roseta sobre un eje. Poseen una nervación central y un grueso peciolo o penca que constituye la parte comestible, con una raíz pivotante.

La planta es binual: la floración se induce con temperaturas invernales bajas. El crecimiento es bueno entre 15 y 25 °C. El cultivo se realiza o siembra directa o plantación. La planta se hiela y requiere ser protegida en invierno. En verano debe regarse de forma regular.

Sistema radicular: Raíz bastante profunda y fibrosa. Hojas: Constituyen la parte comestible y son grandes de forma oval tirando hacia acorazonada; tiene un peciolo o penca ancho y largo, que se prolonga en el limbo; el color varía, según variedades, entre verde oscuro fuerte y verde claro. Los peciolos pueden ser de color de color blanco, amarillento o incluso rojizo, según la variedad: crema o blancos.

Flores: Para que se presente la floración necesita pasar por un período de temperaturas bajas. El vástago floral alcanza una altura promedio de 1.20 m. La inflorescencia está compuesta por una larga panícula. Las flores son sésiles y hermafroditas pudiendo aparecer solas o en grupos de dos o tres. El cáliz es de color verdoso y está compuesto por 5 sépalos y 5 pétalos.

Fruto: Las semillas son muy pequeñas y están encerradas en un pequeño fruto al que comúnmente se le llama semilla (realmente es un fruto), el que contiene de 3 a 4 semillas. (GARCIA, 2013).

6.4.3 Usos de la acelga

Es una verdura con cantidades insignificativas de hidratos de carbono, proteínas y grasas, dado que su mayor peso se lo debe a su elevado contenido en agua. Por ello resulta una verdura poco energética, aunque constituye un alimento rico en nutrientes reguladores, como ciertas vitaminas, sales minerales y fibra. Sus hojas más externas son las más vitaminadas. En la acelga, el mineral más abundante es el potasio. Sin embargo, esta verdura destaca por su mayor contenido en magnesio, sodio, yodo, hierro y calcio. (GARCIA ,2013).



Figura 2. Acelga (*Beta vulgaris*)

6.5 Sistemas de producción integral sostenibles

Algunos procesos usados en la agricultura convencional han causado, al parecer, una serie de problemas ambientales. La industria agrícola ha estado buscando alternativas que disminuyan este impacto ambiental sin dejar de satisfacer la demanda de alimentos.

Por ello, el sistema biointensivo de producción agrícola surge como una alternativa eficaz que busca maximizar espacio, reducir costos y contaminación, ahorrar agua y tener altos rendimientos, aprovechando lo que la naturaleza nos ofrece y regresándole parte de lo que nos da. (Uribe, 2009).

6.5.1 Descripción de un sistema hidropónico

Un cultivo hidropónico es un cultivo vegetal en el que no se emplea suelo alguno. Para lograrlo, se emplean diferentes técnicas para fijación de las plantas, las que mantendrán sus raíces en contacto con una solución nutritiva. Los nutrientes presentes en el agua son absorbidos por ellas a medida que crecen, incorporándose nuevamente a la solución. En el agua deberán mantenerse los parámetros fisicoquímicos que favorezcan el crecimiento de las plantas. Esta técnica de cultivo permite lograr mejores rendimientos por unidad de área, en comparación con los cultivos en tierra, además de obtención de productos de mejor calidad que los obtenidos en ella.

Existen tres sistemas de cultivos hidropónicos:

Técnica de film nutritivo (NFT por su nombre en inglés, “Nutrient Film Technique”), Lecho de sustrato y Balsas flotantes o piletas profundas.

Estos sistemas son interesantes, primeramente, desde el punto de vista espacial. Consisten en hacer correr una película de solución nutritiva muy fina a lo largo de un canal de cultivo, lo que permite agrupar plantas y obtener rendimientos altos por unidad de superficie. Existen incluso diseños de sistemas NFT verticales donde se aprovechan muros, creando así, cultivos verticales. Al atravesar todo el canal de cultivo, el agua retorna al reservorio. Las plantas son contenidas en algún recipiente plástico ranurado o similar suspendido sobre el canal, permitiendo que sus raíces alcancen el nivel del agua. Este sistema es muy utilizado para plantas pequeñas (lechugas, radicheta, perejil, rúcula, albahaca, etc.) que no necesitan gran sostén.

Lecho de sustrato

Se trata de contenedores como cajones, bateas, artesas, etc., llenos de un sustrato inerte que sirve de sostén a las plantas. Dichos contenedores no suelen tener más de 30 cm de profundidad, ingresando el agua por uno de sus extremos y egresando por el opuesto, retornando así al reservorio. Son utilizados para todo tipo de plantas, pero en especial, son muy útiles para aquellas plantas que necesitan buen sostén por su peso, como son los tomates, pimientos, etc., o bien, son empleados en condiciones climáticas adversas, como los vientos. Además, proporcionan un excelente medio de cultivo para especies rastreras o con tubérculos como son los zapallos, melones, cebollas, remolachas, zanahorias, etc. En estos sistemas, se emplean diferentes tipos de sustratos: Leca, donde su denominación corresponde los términos ingleses de Light Expanded Clay Aggregate; grava, canto rodado, arena, aserrín, viruta, turba, perlita, vermiculita, etc.

Balsas flotantes

Los sistemas de balsas flotantes se caracterizan por no necesitar reservorio de agua aparte de la zona de cultivo, constituyendo por si misma el reservorio. Se utilizan contenedores similares a los de lecho de sustrato pero en este caso se encuentran enteramente llenos de solución nutritiva. Flotando sobre esta, se coloca una plancha de tergopol o similar de espesor adecuado (4-5 cm), en la que se efectúan perforaciones donde se colocan las plantas, sostenidas por vasos plásticos ranurados. De esta forma, las raíces quedan inmersas en la solución nutritiva. La solución debe ser aireada mediante burbujeo de manera continua, asegurando así, una buena oxigenación a la solución. (Ocanto, 2012).

6.5.2 La acuaponía como sistema agroalimentario sostenible

En los sistemas de producción acuapónica, el agua se encuentra enriquecida con desechos orgánicos producidos por los organismos acuáticos, y son aprovechados como fuente de nutrientes por las plantas. En este contexto, las raíces actúan como biofiltros, lo cual permite “limpiar” el agua para poder usarla nuevamente para los animales acuáticos, resultando en una integración de sistemas acuícola-agrícola. (Muñoz-Gutiérrez, 2012).

6.5.3 Antecedentes de la acuacultura

La acuacultura es una actividad que abarca muy variados aspectos y una amplia gama de especies, sistemas y prácticas y resulta indudable que a pequeña escala, promueve el desarrollo socio-económico y cumple los objetivos de producción de alimentos, generación de ingresos, y provisión de empleo para los agricultores de escasos recursos (Revista Mexicana de Agronegocios, 2009).

El futuro de la producción de peces, requiere el uso de agua tan económico como sea posible, rehusándola y eliminando a su vez, residuos que puedan afectar el crecimiento y desarrollo de los peces. Por otra parte, las demandas de legislación ambiental, son también cada vez mayores, reduciendo con ello las posibilidades de producir en sistemas abiertos en los que no hay un adecuado control del medio ambiente.

La producción en sistemas cerrados con recirculación de agua, ofrecen un ambiente más eficiente y controlado para los peces. Los costos no son elevados y proporcionan buenos dividendos. En estos sistemas el agua de desperdicio cargada con subproductos metabólicos de los peces y/o mariscos, se recicla con purificación biológica y física, reutilizándola en más de un 90%.

6.5.4 Calidad del agua

Una baja concentración de oxígeno disuelto en el agua puede matar a los peces, esta condición es producida por el exceso de comida y de fertilizante orgánico, que al descomponerse consumen el oxígeno disuelto del agua. Si el consumo de oxígeno es elevado los peces pueden morir asfixiados. Aquellos estanques a los que se les está suministrando grandes cantidades de fertilizantes y/o alimento deben ser monitoreados cuidadosamente para determinar si la concentración de oxígeno disuelto en el agua es el adecuado para los peces. Por lo general, la concentración de oxígeno disuelto en el agua se agota justo antes del amanecer. Es recomendable que los agricultores visiten sus estanques temprano en la mañana para ver si sus peces están sufriendo una baja concentración de oxígeno. Cuando este es bajo, los peces suben a la superficie, en donde el agua está en contacto con la atmósfera y en donde los niveles de oxígeno son mayores (Gálvez, scribb 2017).

6.5.6 Norma oficial mexicana 001 SEMARNAT-1996.

Normalización para la Protección Ambiental, Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

Según la norma NOM -001-SEMARNAT-1996 es importante garantizar la calidad del agua de los ríos que alimentan las unidades de producción de trucha y que reciben las descargas de sus aguas residuales antes que se viertan para reducir sus contaminantes a los niveles aceptables. (SEMARNAT, 1997).

6.5.6 Antecedentes de la acuaponía

La acuaponía constituye una integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual se juntan, el componente acuícola y el componente hidropónico. En este sistema, los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento, son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal. De esta forma se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que, el agua libre ya de nutrientes, queda disponible para ser reutilizada. Gracias a esto, los sistemas acuapónico trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos (Rakocy, 1999).

Este sistema aprovecha los desechos generados por los peces para nutrir a las plantas que a su vez liberan el agua de estos compuestos haciéndola disponible nuevamente para los peces.

Las plantas que se pueden adaptar al sistema de acuaponía son todas aquellas que se puedan cultivar hidropónicamente. Se puede decir que la acuaponía no genera desecho alguno.

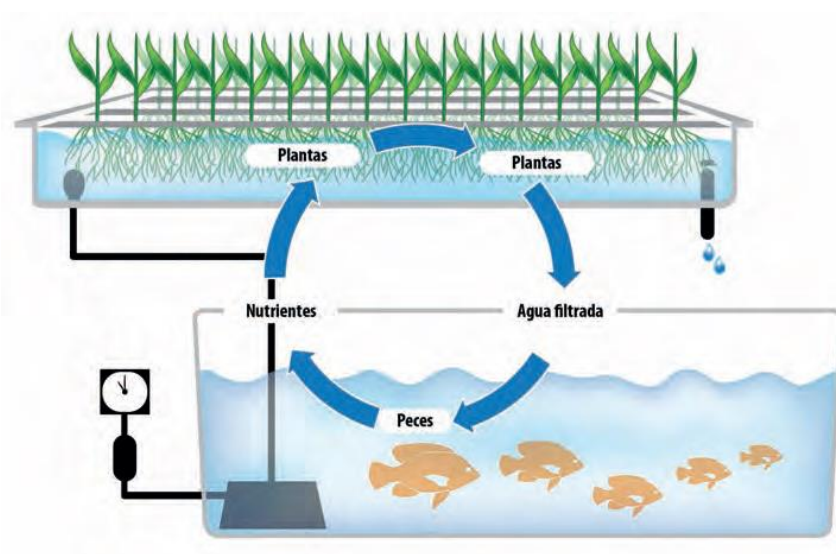


Figura 3. Sistema de recirculación acuapónico

De acuerdo a Adler citado por Iturbide (2008) la acuaponía tiene algunos principios que la gobiernan estos son:

- Los productos de desecho de un sistema biológico sirve como nutrientes para un segundo sistema biológico.
- La integración de peces y plantas resulta en un policultivo que incrementa la diversidad y la producción de múltiples productos (policultivo).
- El agua es reutilizada a través de filtración biológica y la recirculación.
- La producción local de alimentos provee acceso a alimentos más saludables e incrementa la economía local.

6.5.7 Técnicas de cultivos acuícolas

Existe un creciente interés a nivel mundial sobre la integración de las técnicas de cultivos acuícolas (Grande y Luna, 2010).

La diversificación de los sistemas de producción, a través de la introducción de la acuicultura, disminuye los riesgos asociados con las actividades agrícolas en pequeña escala. La razón es que los estanques ícticos (pertenece a todos los pescados) hacen viable, al permitir irrigar los cultivos y abrevar los animales durante la estación seca, la producción agrícola a lo largo del año; además de la producción de peces, la cual contribuye con un producto comestible y de valor en el mercado al sustento familiar (FAO, 2000).

6.5.8 Filtración biológica

Los peces producen amoníaco (NH_3) y nitritos (NO_2) como productos metabólicos, los que son tóxicos para ellos por lo que deben ser transformados en nitratos (NO_3) para reducir su peligrosidad. Esto ocurre a través de los biofiltros puesto que establecen colonias de bacterias denominadas nitrosomonas y

nitrobacter, las que intervienen en el ciclo del Nitrógeno. (Hernández, Aguirre y López, 2009).

6.5.9 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto no requiere de tantos detalles como el pH. Simplemente cabe mencionar que este gas, debe mantenerse por encima de 3 mg/L, siendo preferible una concentración igual o mayor a 5 mg/L. De encontrarse disminuido el oxígeno en el sistema, no se realizará una buena nitrificación; restando desechos metabólicos sin filtrar y acumulándose en concentraciones tóxicas para los peces. Los peces y plantas ante la ausencia de oxígeno, dejan de crecer, y en el caso particular de los peces, pueden dejar de alimentarse y morir. Un buen momento para la medida del oxígeno, es luego de alimentar, cuando el metabolismo de los peces se incrementa. (HYDROENVIRONMENT, 2017).

6.5.10 pH

El pH es un factor que interviene en varios procesos; el primero, es el mencionado con anterioridad, llamado nitrificación, este puede ocurrir en un rango muy variado de pH como 6 a 9 (Wheaton et al., 1994) pero algunos autores sostienen que el rango óptimo se encuentra entre 7,2 a 7,8 (Loveless & Painter, 1968, en Timmons *et al.* 2002). También interviene en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que nutrientes esenciales como el hierro, manganeso, cobre, zinc y boro, se encuentran menos disponibles para las plantas a pH mayores de 7,5; mientras que la solubilidad del fósforo, calcio y magnesio, disminuye con pH menor a 6 (Rakocy, J. en Timmons, 2002).

El pH debe ser adecuado para la especie de pez que se desee cultivar, siendo en general, valores dentro de un rango de 7 a 7,5, para todas las especies.

Mantener el sistema acuapónico en un pH de 7, hará que el mismo funcione en forma correcta. No obstante, no se debe dejar de tener en cuenta que una precisa nitrificación, resultará en ácido carbónico, que hará que el sistema tienda a disminuir su pH. Normalmente, en sistemas de recirculación ello se resuelve añadiendo bicarbonato de sodio, pero en un sistema acuapónico, no debe ser

utilizado. La acumulación de Sodio, combinado con la presencia de Cloro, es tóxica para las plantas (Resh, 1995 en Timmons, 2002). El descenso de pH en sistemas acuapónicos puede ser subsanado con Hidróxido de Calcio, Hidróxido de Potasio, Carbonato de Calcio o Carbonato de Potasio.

6.5.11 Especies para cultivos

Las especies que pueden ser cultivadas en sistemas acuapónico, tanto de plantas, como de peces son variadas. No obstante, la combinación de ambas (peces y plantas) deberá ser seleccionada con atención a la hora de realizar la operación. Debe considerarse que las dos especies tengan requerimientos similares en cuanto a temperatura y pH, ya que así se lograrán los mejores resultados. Siempre habrá algún compromiso para con cualquiera de las especies, y esto se debe a que la mayoría de las plantas prefieren un pH que ronde los 5,5 puntos, mientras que los peces prefieren un pH de 7,5.

La selección de especies vegetales adaptadas a los cultivos hidropónicos está directamente relacionada con la densidad de población en los tanques de peces y la concentración de nutrientes de los efluentes acuícolas. Más de 30 tipos vegetales han sido cultivados en sistemas integrados con bases experimentales (Rakocy et al., 1992). La lechuga, la espinaca, las cebolletas y la albahaca (entre otras), tienen bajos a medios requerimientos nutricionales y están bien adaptadas a los sistemas de recirculación de acuaponía. Por su parte, las plantas que producen frutos como los tomates, los pimientos y los pepinos, tienen una mayor demanda nutricional y se desarrollan mejor en sistemas acuapónicos más complejos (Diver, 1996; Masser, 2002).

6.5.12 Ventajas y desventajas del sistema acuapónico

Los beneficios de un sistema acuapónico de acuerdo con Masser (2002); con un buen diseño y funcionamiento adecuado reduce en un 90% los requerimientos de agua necesaria para un cultivo normal de peces; utiliza tan sólo una décima parte

de agua y puede aumentar los rendimientos y bajar los costos de producción sin la necesidad de contar con grandes extensiones de tierra, además de ahorrar hasta un 45% en fertilizantes en una producción de hortalizas, ya que el agua de un sistema de producción de peces proporcionan el 80% de los 16 elementos que necesitan las plantas para su desarrollo. No obstante, lo anterior, se puede obtener hasta 500 plantas por metro cuadrado de manera anual. En general, está documentado que por cada tonelada de pescado que se produce por acuaponía por año, se pueden producir alrededor de siete toneladas de algún cultivo vegetal (CICESE, 2008).

Cuadro. 2. Ventajas y desventajas de un sistema acuapónico (CICESE, 2008).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> •Producción de alimentos en áreas reducidas. •Rendimiento igual o superior al de sistemas hidropónicos. •Reducción de la cantidad de nitrógeno en descargas de agua. •Elimina uso de químicos y fertilizantes. •No hay que preparar soluciones nutritivas. •La producción de peces es orgánica y de gran calidad. •Ambas producciones son amigables con el ambiente. •Genera dos fuentes de ingreso diferentes: plantas y peces. 	<ul style="list-style-type: none"> •La producción en volumen de plantas está limitada por la cantidad de peces en el sistema. •Uso de bombas, filtros y energía.

6.6 Antecedentes de la lluvia sólida

Un gel es una estructura polimérica entrecruzada, que por acción de un líquido experimenta un hinchamiento y que permanece insoluble sin perder su forma original. La conservación de la forma es el resultado de un balance entre las fuerzas intermoleculares dispersivas y cohesivas. Si el hinchamiento se produce por acción del agua se obtienen los denominados hidrogeles (Pinzón *et al.* 2002).

Los hidrogeles se definen como polímeros hidrófilos o absorbentes de agua, blandos, insolubles en agua y que en su presencia se hinchan, aumentando considerablemente su volumen y manteniendo en todo momento un equilibrio físico-químico (Katime *et al.* 2004).

Trujillo N. (2003) manifiesta que los retenedores se ofrecen en el mercado bajo distintos nombres y calidades, entre los que podemos citar: silos de agua, Hidrokeeper, hidrogel, agua sólida, polímeros, acuagel, entre otros. Estos productos tienen la capacidad de absorber el agua convirtiéndose en formas de geles separados que absorben y entregan la reserva cuantas veces sea necesario por un periodo de 5 años.

Es un sólido de aspecto cristalino, que al mojarse puede absorber muchas veces su peso en agua (dependiendo del contenido en sales de ella) y por tanto multiplica su volumen original (Erazo, 2011).

Técnicamente se trata de un copolímero reticular de acrilamida de potasio, no soluble en agua, súper absorbente que fue diseñado en primera medida para reducir las frecuencias de riego, pero sus excelentes resultados llevaron a que se utilizaran hoy y de manera rutinaria en plantaciones de zonas secas (Trujillo, 2007).

Tiene una larga vida de útil de cinco años, absorbe los fertilizantes, evitando la lixiviación de los mismos, lo cual incrementa la producción y genera un ahorro

significativo. Es amigable con el Medio Ambiente, no contamina los suelos, ni plantas, ni agua y tiene pH neutro, se degrada naturalmente en el suelo, en CO₂, H₂O, N y K. Por eso es importante que sea a base de Potasio, ya que si fueran a base de sodio pueden volver el suelo salino (Cosecha De Lluvia, 2015).

El proceso de hidratación es completamente reversible, una vez el agua es absorbida por la planta, la partícula regresa a su tamaño original lista para absorber nuevamente; este proceso puede repetirse muchas veces durante 4 a 7 años (Profafor, 2007).

6.6.1 Ventajas y desventajas en el uso de lluvia sólida

La Lluvia sólida es un sistema de riego que a diferencia de otros como el de goteo y cintillo, es el único que emplea agua en estado sólido; los resultados son extraordinarios porque la raíz se mantiene húmeda por varios meses, y se rehidrata en repetidas ocasiones con las precipitaciones.

El agua de lluvia se adhiere al gel localizado en las raíces de las plantas y este se humedece lo suficiente para que aproveche el agua necesaria, por tanto no hay desperdicio ya que el agua no se infiltra al subsuelo, ni se evapora. La cualidad de la *Lluvia sólida* de no perderse por filtración al subsuelo la hace ideal para sembrar en zonas áridas, áreas de baja precipitación y en parcelas sin riego (VELASCO, 2012).

Inclusive una de las desventajas que presenta lluvia sólida es el acceso a este mismo material, debido a que es un descubrimiento de años recientes y se encuentra a prueba, siendo una técnica con un alto valor económico, es decir, es una técnica costosa.

6.7 Producción en sistema Tradicional o en Tierra

La agricultura tradicional son las prácticas agropecuarias indígenas, consecuencia de la evolución conjunta de los sistemas sociales y medioambientales autóctonos y que muestran un nivel alto de sentido ecológico expresado a través del uso intensivo de los conocimientos y recursos naturales autóctonos, que incluyen la gestión de la agro biodiversidad mediante sistemas agropecuarios diversificados.

La agricultura tradicional suele basarse en prácticas transmitidas de generación en generación desde hace largo tiempo. Una característica destacada de los sistemas agrícolas tradicionales es su grado de diversidad vegetal en forma de policultivos o de sistemas agroforestales. Esta estrategia, cuyo objetivo es reducir al mínimo el riesgo mediante la siembra de diversas especies y variedades de cultivos, estabiliza los rendimientos a largo plazo, fomenta la diversidad alimentaria y logra la máxima rentabilidad incluso con niveles tecnológicos bajos y recursos limitados. (Glosario de Agricultura de la FAO.2009).

6.7.1 La Agricultura de Riego

El agua tiene múltiples formas de utilización, las cuales van desde el consumo humano y el industrial hasta el riego agrícola y la producción de energía. Entonces vemos que un determinante en el surgimiento de las grandes civilizaciones ha sido el riego, siendo así un elemento importante en una actividad productiva de la cual se obtiene la alimentación de un país: la agricultura. Por ello es que se comenta que el valor del recurso va adquiriendo más relevancia conforme se diversifica su uso, entre más escaso y necesario sea tiende a adquirir mayor valor, cuando esta situación se generalice el uso del agua para riego tendrá que ser más eficiente para que pueda satisfacer todas las necesidades (FIRA, 1998).

Peña (1997) plantea que la utilización de aguas residuales en la agricultura en el mundo ha tenido varias etapas: comenzó su generalización a finales del siglo XIX hasta los primeros años del siglo XX, se usaba el agua negra sobre parcelas agrícolas con el objetivo de limpiarla y cuidar la calidad de los cuerpos de agua

que la recibían; posteriormente este tipo de riego agrícola como sistema de tratamiento de los desechos perdió vigencia en los países desarrollados al descubrirse nuevos procesos de tratamiento de aguas; otra etapa comienza cuando se renueva el interés por los métodos nuevos en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, pero en los países desarrollados se realiza con procesos previos de tratamiento de las aguas residuales y criterios cada vez más estrictos de control de la calidad del agua y los cultivos permitidos. Esta última situación es la que existe en la actualidad la población como consecuencia de su contaminación química y biológica, esto se ha producido por los residuos domésticos e industriales que a través del agua de lluvia, de los escurrimientos y de las filtraciones, han alcanzado los cursos fluviales que abastecen a la sociedad. De ahí que el consumo y el contacto de agua, o de productos agropecuarios regados con ella, si está contaminada se convierten en un medio para transmitir una amplia variedad de infecciones y enfermedades.

6.7.2 Ventajas y desventajas

Ventajas

- Productividad alta.
- Resultados productivos a corto plazo.
- Resultados agronómicos a corto plazo.
- Sistema que utiliza todas las herramientas tecnológicas disponibles.
- Prepara el suelo con labranza mínima o intensiva.
- Utiliza semillas tradicionales, semillas mejoradas ' certificadas como semillas tratadas.

Tiende a ser más extensiva productiva por el uso de las herramientas que facilitan esta modalidad.

Desventajas

Los cultivos tradicionales son, por su naturaleza, grandes consumidores de espacio, están expuestos a plagas y requieren grandes cantidades de agua de riego, así como de fertilizantes. Igualmente, y tratándose de grandes extensiones, se presentan complicaciones adicionales, como, la necesidad de vigilancia para evitar la depredación de los cultivos por animales o humanos. Aún más, los cultivos de una misma especie, como es usual, constituyen en caso de plaga, un factor multiplicador potente de dicha plaga, que abarca rápida e intensamente la totalidad del cultivo y la pérdida del mismo.

- Altos costos de los productos agroquímicos.
- Impacto ambiental negativo muy alto.
- Alta contaminación del suelo.
- Índices nutricionales bajos de los productos agrícolas.
- Utilización de un arsenal de productos químicos de síntesis técnicas erróneas de laboreo que destruyen la vida subterránea.
- Al combatir las plagas de las raíces adventicias con herbicidas y plaguicidas, se provocan más ataques parasitarios que obligan a aumentar la potencia o la cantidad de sustancias químicas, que a su vez destruyen la rica vida microbiana subterránea.
- Los plaguicidas sintéticos tardan mucho tiempo en degradarse.
- Los pesticidas que no se pierden por volatilización o en las aguas de escorrentía percolan hacia las aguas subterráneas o quedan en el suelo, contaminándolo. (Coello, 2013).

6.8 Marco teórico referencial

6.8.1 Hortalizas y su importancia económica

La importancia de la horticultura en México se refleja en los datos estadísticos. Con sólo 550 000 ha (2.7% de la superficie agrícola nacional), las hortalizas contribuyen con 14.3% del valor de la producción, ocupan 17.5% de la fuerza de trabajo y aportan la mitad de las divisas generadas por el sector agrícola. Ante la apertura comercial del país y la acelerada globalización de la producción hortícola es importante ubicar a México en el entorno internacional para conocer su importancia real y definir estrategias (Valadez, 2001).

6.8.2 Valor nutricional y medicinal

Las hortalizas son utilizadas en la alimentación humana sin afectar a la salud, una hortaliza es la porción comestible de una planta herbácea (hojas, tallos, raíces, flores, frutos o semillas) que se consume fresca, cocida o preservada. Es complemento indispensable de los alimentos básicos que proporcionan energía. Son importantes por su gran contenido de vitaminas, minerales y fibras, con pocas calorías y proteínas. (Horticultura, 1986).

El valor nutricional de la lechuga se resalta por el contenido de minerales y vitaminas. Es una fuente importante de calcio, hierro y vitamina A, proteína, ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) y niacina. El contenido nutricional tiene similitud con otras hortalizas, como el apio, el espárrago y el habichuelín o ejote. Dado su bajo valor calórico, se ha tornado en ingrediente básico en las dietas alimenticias (Whitaker & Ryder, 1964).

El aporte de calorías de esta hortaliza es muy bajo, mientras que en vitamina C es muy rica; las hojas exteriores tienen más cantidad de esta vitamina que las interiores. También resulta una fuente importante de vitamina K; por lo tanto, protege de la osteoporosis. Otras vitaminas que destacan en la lechuga son la

vitamina A, vitamina E y el ácido fólico. Así mismo, aporta mucho potasio y fósforo y está compuesta en un 94% de agua (Alzate & Loaiza, 2008).

La lechuga tiene funciones medicinales; es refrescante y digestiva; posee virtudes calmantes y notable eficacia como soporífera, por tanto, evita el insomnio, la nerviosidad, el mal humor, la irritabilidad, entre otras. Macerada, junto con avena, sirve como pomada que alivia irritaciones de la piel, alergias, erupciones y quemaduras. También, asociada con achicoria y escarola, sirve para prevenir la desmineralización y sus consecuencias, por ejemplo raquitismo, tuberculosis, caries dentaria y ósea y combinada con pepino y avena, se elabora una pomada útil contra irritaciones de la piel, sabañones y quemaduras.

Además, la cantidad de celulosa y agua orgánica que contiene la lechuga en sus tejidos ayuda considerablemente en el proceso digestivo.

6.8.3 Panorama de la acuicultura

La pesca y la acuicultura son asuntos de seguridad nacional y parte esencial del quehacer económico y social del país. La acuicultura participa en la producción pesquera de México con poco más de 15.8% de la producción nacional. En los últimos doce años, las capturas se han mantenido en un promedio anual de 1.34 millones de toneladas y la acuicultura en un promedio de 239.17 mil toneladas.

La acuicultura consiste en el cultivo y producción de animales y plantas acuáticas en agua dulce, salobre o agua marinas bajo condiciones controladas y/o semi-controladas, en donde interviene la mano del hombre. Los principales organismos acuáticos producidos son peces, moluscos, crustáceos y otros invertebrados, mientras que las plantas acuáticas son producidas en un ambiente marino, salobre o agua dulce. (Hernández, Aguirre y López, 2009).

La acuicultura en México ha sido desarrollada en forma muy variada, en la mayoría de las regiones del País, utilizando diversas prácticas y sistemas de producción, desde intensivo, semi-intensivo y extensivo. En jaulas, líneas suspendidas, estanques, canales, estanques de concreto.

La actividad acuícola está particularmente basada en las siguientes especies: Carpa china, bagre, tilapia, trucha, langostinos, ostras japonesas, mejillones y cinco especies nativas camarón blanco del pacífico, ostra americana, abulón, almejas, y langostinos. Semarnat (2005).

México se encuentra actualmente entre los países de mayor producción acuícola en América. Para el año 2002, se registró un ingreso de más de \$3, 309 millones de pesos por acuacultura, producto de 45, 853 toneladas de camarón blanco del pacífico, 91,434 toneladas de peces de agua dulce (mojarra, carpa, trucha, lobina y charal) y 48.878 toneladas de ostión (Conapesca, 2004).

6.8.4 Importancia de la acuacultura en el Estado de Puebla

El agua para la acuacultura y la pesca es indispensable, Puebla se ubica en el altiplano del país, en donde la disponibilidad de agua se encuentra localizada en las zonas aledañas a los volcanes Iztaccihualt y Popocatepetl, en la región centro del país, esta agua es producto de los deshielos de dichos volcanes; en la región Oriente se encuentra el volcán Citlaltepetl que sus deshielos abastecen de una abundante cantidad de este líquido a una región que ocupa el primer lugar en cuanto a la producción de trucha arco iris se refiere; en la región norte el agua que abastece a la gran mayoría de unidades de producción proviene de manantiales y en algunos casos por la construcción de tomas que derivan de pequeños arroyos, cabe hacer notar, que en esta región se tiene una variedad de cultivos acuícolas como lo son tilapia y trucha; en la región sur del Estado o mejor conocida como Mixteca poblana, el agua que alimenta a los cultivos también es proveniente de manantiales en su gran mayoría.(Ortega, 2009).

En cuanto a la pesca se refiere, esta se practica de manera artesanal en casi todo el Estado utilizando artes de pesca como los son atarrayas y chinchorros para la captura de mojarras, huevinas, robalos, bagres y guapotes todas estas especies provenientes de río básicamente, para el caso de crustáceos como lo son la acamaya y algunos camarones de río como los burritos, se utilizan trampas

hechas a mano como cubetas y canastas estas últimas elaboradas con raíces de bejuco.

La acuacultura en el Estado durante los últimos años manifiesta ciertas variaciones tanto al alza como a la baja en función de una producción en 1995 de 5,159 toneladas a una producción de 4,332 toneladas, en 2007. Pero en los últimos 3 años ha presentado una tendencia a la baja.

6.8.5 Importancia de la producción de trucha en el municipio de Chilchotla

La producción de trucha del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) se destina en un alto porcentaje a la comercialización, aunque algo se auto consume. El 10% de los productores dedica más del 25% de su producción para autoconsumo. El precio de venta promedio incluyendo las diversas formas de comercialización es de \$50.00 por kilogramo. El 25% de los productores agrega cierto valor agregado al producto mediante la preparación del mismo en algún tipo de restaurante. El 58% de los productores comercializa su pescado a pie de granja, 8% utiliza los mercados locales, y 42% los mercados regionales, principalmente hacia la Ciudad de Xalapa, Jalacingo y Coatepec en el Estado vecino de Veracruz. (Ortega, 2009).

6.8.6 Situación actual y perspectivas de la acuaponía a nivel mundial.

Aunque la acuacultura y la hidroponía han sido practicadas desde la antigüedad y en México hay importantes vestigios arqueológicos de ello, la combinación de los dos elementos en la acuaponía es relativamente reciente (Fox *et al.* 2010). Los primeros reportes en este campo datan de la década de 1970, y hasta la década de 1980 estos desarrollos tuvieron limitada aplicación (Muñoz y Gutiérrez, 2012).

6.8.7 Situación actual y perspectivas de la acuaponía en México

Actualmente, en diversos países la acuaponía se encuentra en vías de crecimiento y experimentación, aunque cada vez son más los que se suman a su implementación debido a problemas de limitación del agua, así como, a las regulaciones por la disposición de la misma cuando se encuentra contaminada por desechos. La tecnología se ha venido mejorando y adaptando a distintas condiciones relacionadas con el clima, las especies de cultivo, regulaciones legales, costos de producción, entre otras.

En México desde hace varios años se iniciaron pruebas y emprendimientos de sistemas experimentales y granjas comerciales de acuaponía.

En la Universidad Autónoma de Guadalajara, desde 2001 se realizan ensayos con sistemas tilapia y langosta australiana en combinación con pepinos, lechugas y tomate (BOFISH, 2014). En el 2004, la empresa Acuicultura del Desierto S. de P. R. de R. L. inició operaciones en Baja California, y produce tilapia y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en combinación con hortalizas orgánicas y especies aromáticas como albahaca (Falcón, 2010). En el 2005 en el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, se desarrolló un sistema de producción acuapónico a pequeña escala para producir tilapia, tomate, pepino europeo, lechuga y forraje verde hidropónico (BOFISH, 2014).

6.8.8 Situación actual y perspectivas del uso de lluvia sólida en México

Como una alternativa al problema de la sequía que padecen algunos Estados del norte del país y a fin de mejorar la eficiencia agrícola mediante sistemas de irrigación óptimos, el egresado del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Sergio Jesús Rico Velasco, desarrolló una metodología para implantar agua solidificada en los campos agrícolas con el objeto de que las raíces de las plantas aprovechen la humedad y crezcan sanas y fuertes.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 El área de estudio (Situación geográfica)

El municipio de Chilchotla se localiza en la parte centro-este del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 14'00" y 19° 07'24" de latitud norte y los meridianos 97° 07'24" y 97° 15'54" de longitud occidental.

Colinda al norte con el Estado de Veracruz; al sur con Tlachichuca; al este con Quimixtlán y al oeste con Saltillo La Fragua.

El municipio se ubica en la parte occidental de la sierra de Quimixtlán, cubierta por grandes cantidades de material volcánico, que forma parte de la Sierra Madre Oriental.

Presenta una topografía variada; montañosa en la mayor parte del municipio y un declive suave al centro-oeste. Destacan cuatro sierras: la sierra del noroeste, formada por los cerros La Paz, Los Órganos y Xicotepec.

El municipio se localiza en la cuenca del río la Antigua, que desemboca en el Golfo de México, 20 kilómetros al norte del Puerto de Veracruz.

Es recorrido por varios ríos que provienen del sur y del poniente; originados en la parte más alta de la sierra de Quimixtlán y de las estribaciones del río Orizaba; destacan los siguientes: el río Huitzilapan, el más importante de la sierra de Quimixtlán, baña el sur del municipio y constituye uno de los principales formadores del río la Antigua. (INAFED, 2014).

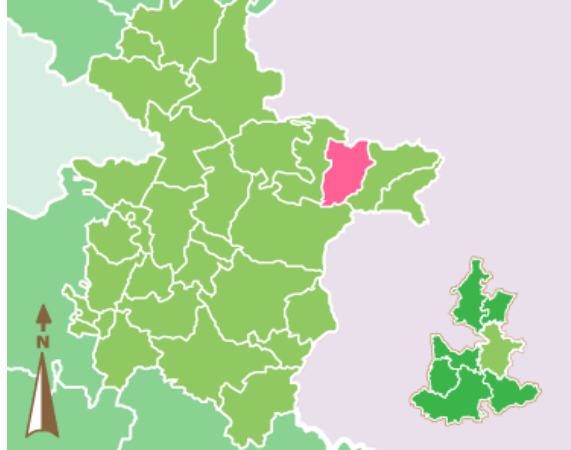


Figura 4. Ubicación del Municipio de Chilchotla Puebla

La universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla se encuentra al sureste del municipio.



Figura 5. Ubicación de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla

7.2 Materiales y métodos

Material de campo.

Para la estructura.

- * Varilla
- * Alambre de cobre
- * Malla sombra negra (30 x 70)
- * Flexómetro
- * Tubo de PVC de 45 pulgadas

Para el sistema cultivo

- * Plántula de lechuga y acelga.
- * Placas de Unicel.
- * Hule espuma (5 cm de grosor).
- * Termómetro.
- * Tiras para medir pH.
- * Cajas de madera (40 x 25 cm).
- * Tierra.
- * Poliacrilato de Potasio.
- * Perlas de hidrogel.
- * Espacio de terreno (1mx 50cm).
- * Pala.
- * Pico.
- * Bolsas de plástico negro.

Material de recolección de datos.

- * Libreta.
- * Lapicero.
- * Fluxómetro

7.3 Desarrollo metodológico

Selección de plántula: Se seleccionaron 10 plantas de Lechuga (*Lactuca sativa*) y 10 plantas de Acelga (*Beta vulgaris*), tomando en cuenta 10 días después de haber germinado.

Preparación de tratamientos:

Tratamiento 1

Se seleccionó un estanque de trucha de la unidad acuícola de la Universidad Interserrana y se limpió, posteriormente se construyó un domo con varilla y se cubrió con malla sombra y se empezó a llenar el estanque (10 cm de profundidad) con el agua que proviene de las truchas.



Figura 6. Toma de medidas del estanque



Figura 7. Limpieza del estanque



Figura 8. Colocación de estructura de varilla



Figura 9. Llenado de estanque con agua de las truchas

Se utilizó una placa de unicel de (1.10 cm X 60 cm de ancho) y se le hicieron orificios de (15 cm) de diámetro y se cortó el hule espuma con el mismo diámetro del orificio haciéndole un corte al hule espuma en el centro para incorporar la plántula. En cada placa de unicel se sembraron 10 plantas de lechuga y 10 de Acelga a una distancia de 10 cm entre cada una.



Figura 10. Colocación de hule espuma en los orificios de la placa de unicel

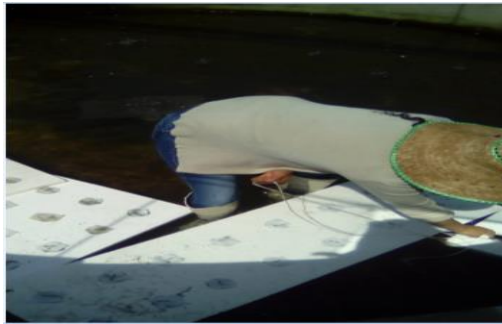


Figura 11. Monitoreo de plantas en el estanque

Tratamiento 2

Se agregó en un recipiente perlititas de hidrogel (5 gr por cada 1.5 litros de agua de trucha) y poliacrilato de potasio (5 gr por cada 1.5 litros de agua de trucha) y posteriormente se hidrataron con agua de trucha y se dejaron reposar por 3 horas. Se utilizaron cajas de madera con medidas de 50 cm x 26 cm y se forraron por dentro para posteriormente agregar una capa de la mezcla de poliacrilato e hidrogel hidratados para luego agregar una capa de tierra, y así sucesivamente hasta utilizar los 6 kilogramos de tierra.



Figura 12 Hidratación de Poliacrilato de potasio con agua de trucha



Figura 13. Hidratación de hidrogel con agua de trucha



Figura 14. Lluvia sólida impregnada en raíces de lechuga

Tratamiento 3

En un espacio ubicado en la parte trasera de la Universidad se hicieron labores de cultivo para acomodar el espacio de 1m x 1m cuadrado. Realizando una cama biointensiva. Se sembraron 10 plantas de lechuga y 10 de acelga, aun distancia de 10 cm cada una.

En cada tratamiento se evaluó su crecimiento cada 8 días (altura, número de hojas) durante 6 semanas.



Figura 15. Acondicionamiento de espacio



Figura 16. Plantas de lechuga y acelga semana 1

7.3.1 Diseño de tratamiento y diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar utilizando 6 tratamientos de cultivo de hortalizas, con 10 repeticiones, para las dos variedades de hortalizas, lechuga y acelga, se incluyeron los tres tipos de cultivo, acuaponía - raíz flotante, lluvia sólida y sistema tradicional (control positivo C).

Cuadro. 3. Descripción de los tratamientos en estudio

ABREVIATURAS.	SISTEMA DE CULTIVO (SC)	HORTALIZA.
T1	ACUAPONÍA	LECHUGA
T2	ACUAPONÍA	ACELGA
T3	LLUVIA SÓLIDA	LECHUGA
T4	LLUVIA SÓLIDA	ACELGA
T5	TRADICIONAL	LECHUGA
T6	TRADICIONAL	ACELGA

De acuerdo al padrón (2013) el modelo estadístico que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = variable aleatoria observable corresponde al i-esimo tratamiento y la j-esima repetición.

μ = media general.

T_i = efecto de i-esimo tratamiento.

e_j = error experimental que se presenta al efectuar la j-esima observación del i-esimo tratamiento.

t = número de tratamientos.

r = número de repeticiones.

7.3.2 Variables

Las variables que se utilizaron para la conducción del experimento fueron, altura de la planta, número total de hojas y tamaño de raíz, prueba de Tukey al (99% de confiabilidad) y graficas en el programa de Excel 2013 de la paquetería Office.

7.3.3 Análisis estadístico

Este trabajo se realizó utilizando un diseño estadístico al azar (DCA) con 6 tratamientos y 10 repeticiones. Las variables se analizaron estadísticamente, utilizando un análisis de varianza (ANOVA) (para cada variable) en la detección de diferencia entre tratamientos y prueba de medias de Rango Múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad para la obtención del mejor tratamiento al igual que un método grafico para el análisis de resultados. (Padrón, 2013)

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Características de los sistemas de cultivo

De acuerdo (Tirilly y Bourgeois, 2002). Las hortalizas que se consumen crudas o cocidas bajo el nombre de hortaliza tienen una naturaleza extremadamente variable y provienen de plantas muy diversas, todas las hortalizas están constituidos por órganos vivos con sus particulares características fisiológicas y que debido a sus actividades biológicas pueden alterarse de forma más rápida, por otra parte su elevado contenido de agua les hace ser con frecuencia, muy frágiles y sensibles a las agresiones externas.

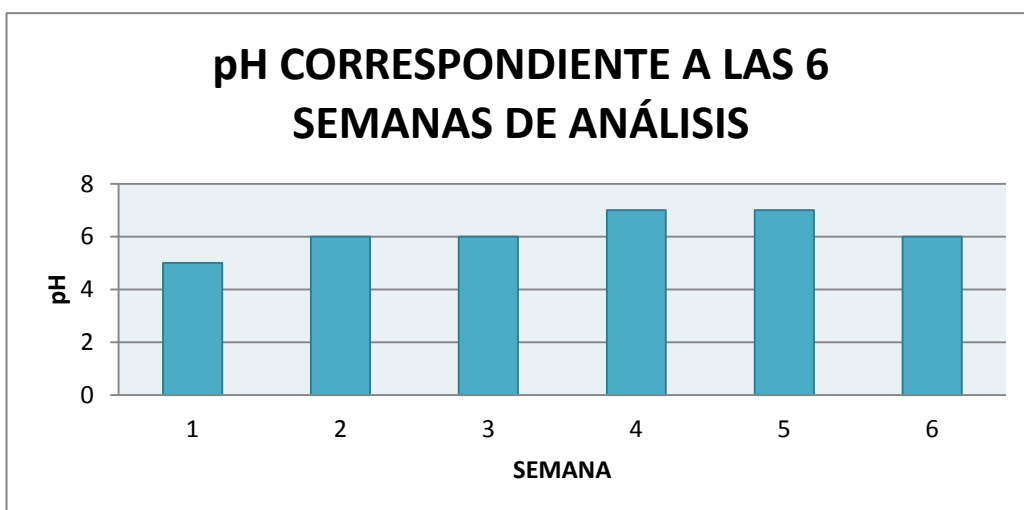
Los Sistemas de Cultivo en los cuales se propagaron las hortalizas lechuga y acelga presentan diferencias en las diferentes variables evaluadas (altura, número de hojas y tamaño de raíz) debido a la composición forma de cultivo en el que se trasplantaron las hortalizas. De acuerdo a esto las hortalizas se tomaron 3 variables altura, numero de hojas, y tamaño de raíz, fueron medidas durante 6 semanas, posteriormente se obtuvo la media de la semana 1, 3 y 6 de cada sistema de cultivo.

8.2 Análisis de media proporcional de pH

El pH es una escala numérica que mide el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, esta escala se mueve entre el 0 y el 14, el agua tiene un pH de 7 se dice que el agua es neutra, una sustancia que presenta menos de 7 se dice que es ácida, por encima de 7 se considera que es alcalina.

Representa la concentración de iones de hidrógeno en el agua y su rango oscila entre 6.5 y 9 dependiendo de la especie a cultivar. El pH en un sistema de recirculación, tiende a declinar debido al CO₂ presente producido por la respiración de los peces y las bacterias dentro del sistema de biofiltro. (Hernández, Aguirre & López, 2009).

El pH del agua se midió con cintas de referencia para medir pH, extrayendo 100 ml de agua de trucha del estanque final obteniendo un promedio de 7 durante las 6 semanas esto indica que el agua se encuentra en un rango neutro. (Grafica 1).



Gráfica 1. Análisis de pH durante las 6 semanas

Cuadro. 4. Parámetros de la calidad del agua (CESAPUE)

INTERVALOS DE REFERENCIA/ESPECIE	TRUCHA
Oxígeno disuelto %	70- 100%
Oxígeno disuelto (mg/l)	>5
Temperatura (°C)	10 a 15
Ph	6.7 a 8.5
Dióxido de Carbono (mg/l)	< 2
Amonio (mg/l)	< 0.03
Nitritos (mg/l)	< 0.55
Dureza (CaCO ₃) (mg/l)	0- 50
Alcalinidad (mg/l)	30 A 200

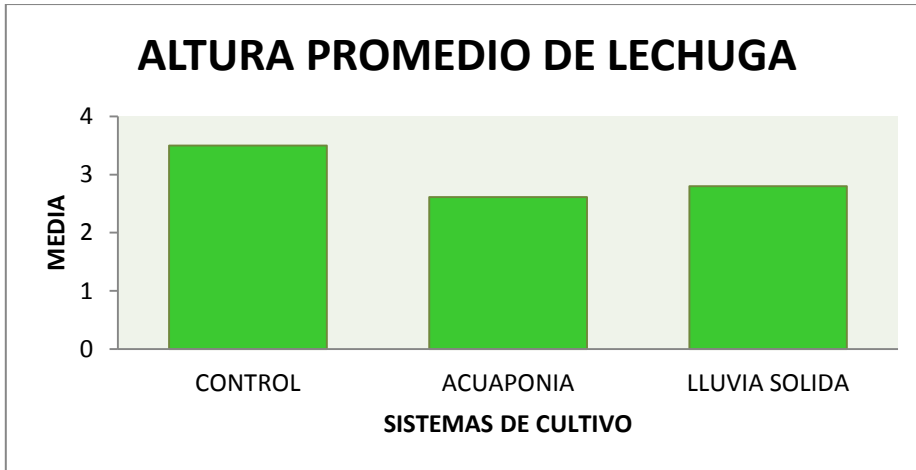
El agua de los estanques de la universidad cumple con estos parámetros ya que el CESAPUE se realiza monitoreos semestrales para evaluar la calidad del agua y someter a tratamientos preventivos y correctivos.

INTERVALOS DE REFERENCIA/ESPECIE	E1	E5
Oxígeno disuelto %	90	73
Oxígeno disuelto (mg/lt)	7.3	5.7
Temperatura (°C)	12.9	13.6
Ph	7	7
Dióxido de Carbono ((mg/lt)	7	15
Amonio (mg/lt)	< 0.009	< 0.001
Nitritos (mg/lt)	< 0.001	< 0.001
Dureza (CaCO3) (mg/lt)	34.2	34.2
Alcalinidad (mg/lt)	51.3	51.3

Cuadro 5. Resultados de los parámetros de la unidad acuícola de la UICH

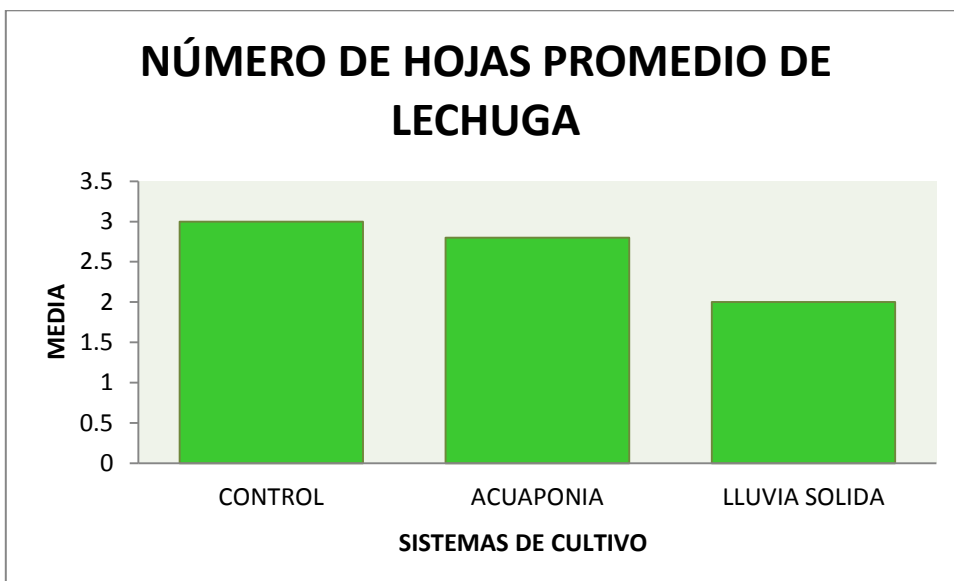
8.3 Análisis de media proporcional a la variable altura de lechuga en la semana 1

En la Gráfica 2 se muestra la altura promedio de lechuga de los sistemas de cultivo (T5 CONTROL- LECHUGA, T1 ACUAPONÍA-LECHUGA, T3 LLUVIA SÓLIDA-LECHUGA) y se observa que el control tiene un mejor crecimiento debido a que es la etapa de adaptación de las hortalizas en cada Sistema de Cultivo (SC), teniendo en cuenta los factores climáticos, y la disponibilidad de agua. Y la media más alta en la semana 1 fue T5 CONTROL- LECHUGA con una media de 3.5, seguido de, T3 LLUVIA SÓLIDA-LECHUGA) con una media de 2.8 y el Sistema de Cultivo (SC) con menor crecimiento fue T1 ACUAPONÍA- LECHUGA) con una media de 2.61.



Gráfica 2. Media correspondiente a la variable Altura de la semana 1 en Lechuga

En cuanto a la variable número de hojas, se obtuvo la media DE LOS 3 Sistemas de Cultivo (SC) y T5 CONTROL- LECHUGA presento un mayor número de hojas desarrolladas con una media de 3 seguido de T1 ACUAPONÍA- LECHUGA con una media de 2.8, y T3 LLUVIA SÓLIDA-LECHUGA con una media de 2. (Gráfica 3).

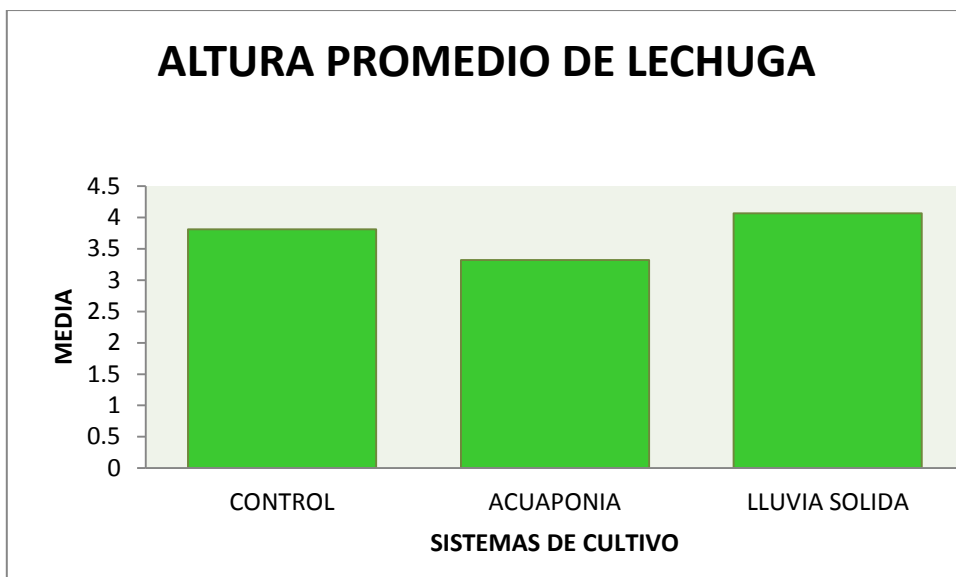


Gráfica 3. Media correspondiente a la variable de número de hojas de la semana 1 en lechuga.

8.4 Análisis de media proporcional a la variable altura y número de hojas de lechuga en la semana 3

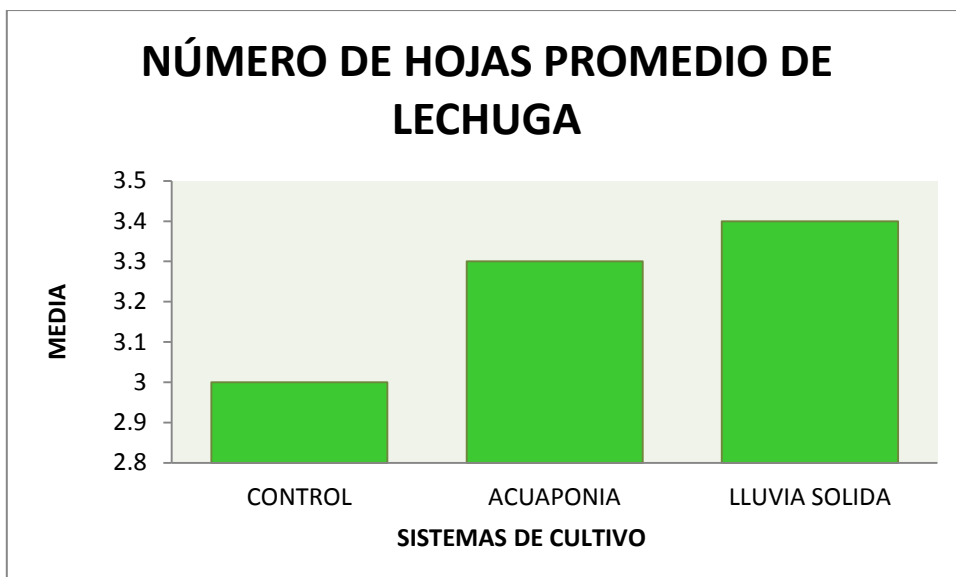
En la semana 3 los 3 Sistemas de Cultivo (SC) presentan diferencias significativas obteniendo la media proporcional de cada variable en lechuga.

En cuanto a la variable altura de lechuga se muestra en la Gráfica 4., que T3 LLUVIA SÓLIDA-LECHUGA presento un mayor crecimiento con una media de 4.07 debido a que el gel se hidrato con agua de trucha, es decir los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (generalmente peces) sirven como fuente de alimento para las plantas (Ramírez *et al*, 2008). El agua se adhiere al gel localizado en las raíces de las plantas y este se humedece lo suficiente para que aproveche el agua necesaria, por tanto, no hay desperdicio de agua (Velasco, 2012). Seguido de T5 CONTROL- LECHUGA, que presento una media de 3.81 debido a algunos factores climáticos, fallas técnicas y disponibilidad de agua. T1 ACUAPONÍA- LECHUGA no presento un buen crecimiento y tuvo una media de 3.32 debido a las variaciones de flujo de agua en el estanque y de eso dependía la cantidad de oxígeno disuelto presente en agua, otro factor es que cuando el sedimento estaba asentado las plantas absorbían la materia orgánica más fácilmente a comparación a cuando el flujo circulaba de manera rápida.



Gráfica 4. Media correspondiente a la variable Altura de la semana 3 en lechuga

En la variable número de hojas en lechuga se muestra en la Grafica 5, que T3 LLUVIA SÓLIDA-LECHUGA presento mayor desarrollo de hojas en la planta con una media de 3.4, Seguido de T1 ACUAPONÍA- LECHUGA T5 CONTROL-LECHUGA con una media de 3.3, y T5 CONTROL- LECHUGA presento un menor desarrollo de hojas en la planta debido a algunos factores climáticos y disponibilidad de agua obteniendo una media de 3.



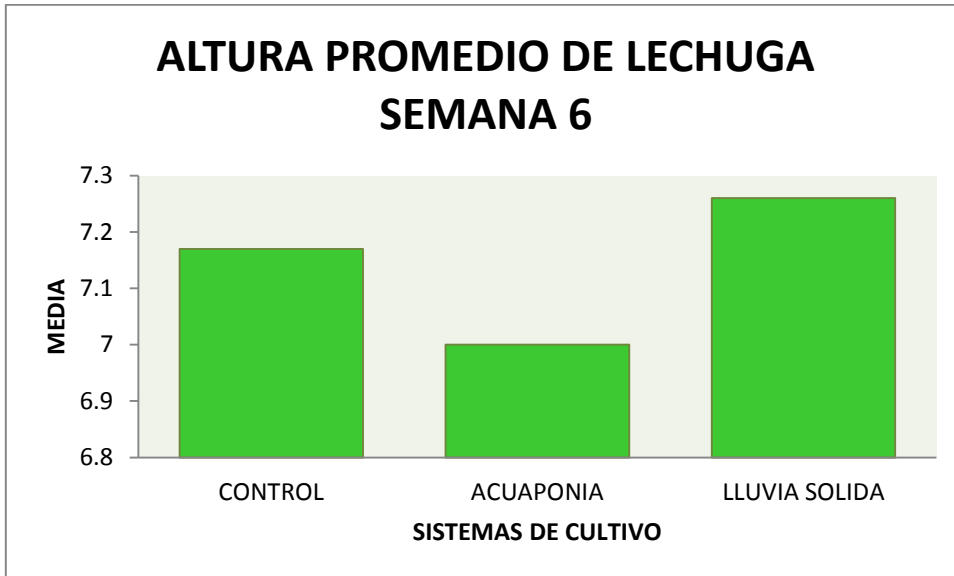
Gráfica 5. Media correspondiente a la variable Número de hojas de la semana 3 en lechuga.

8.5 Análisis de media proporcional a la variable altura, número de hojas y tamaño de raíz de lechuga en la semana 6

De acuerdo a la semana 6 y el análisis de los SC en la variable Altura de lechuga, se muestra que T3 LLUVIA SÓLIDA-LECHUGA presentó un mayor crecimiento con una media de 7.26, debido a esto en el análisis tenían presencia de humedad en la raíz ya que el gel hidratado con agua de trucha, se adhiere a las raíces de las plantas y este se humedece lo suficiente para que aproveche el agua necesaria, por tanto no hay desperdicio de agua (Velasco, 2012). Seguido de T5 CONTROL- LECHUGA, que presentó una media de 7.17 debido a algunos factores climáticos, la disponibilidad de agua, fallas técnicas. En cuanto a T1 ACUAPONÍA- LECHUGA, no presentó un buen crecimiento y tuvo una media de 7, aunque de acuerdo a (Mendoza, 2015) la lechuga en cuanto a sus requerimientos hídricos es exigente. Uno de los problemas que se enfrentaron en el T1 y T2 fue el flujo del agua presente en el estanque, no había suficiente cantidad de oxígeno disuelto en el agua y esto provocaba que las raíces no tuvieran presencia de oxígeno, otro factor que se encontró fue que cuando el sedimento de los peces estaba asentado las plantas absorbían la materia orgánica

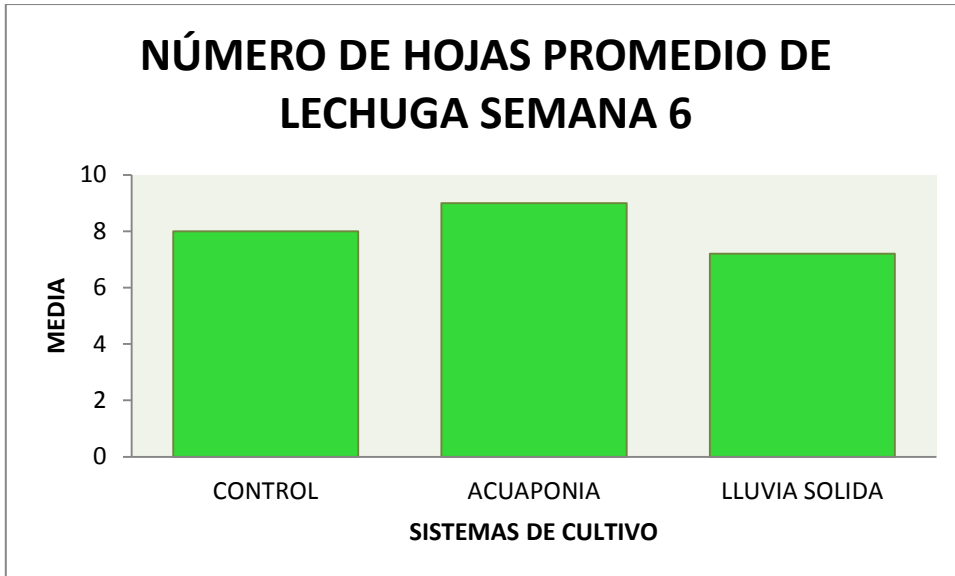
más fácilmente a comparación de cuando el flujo circula de manera rápida. (Gráfica 6).

Gráfica 6. Media correspondiente a la Altura de la semana 6 en lechuga.



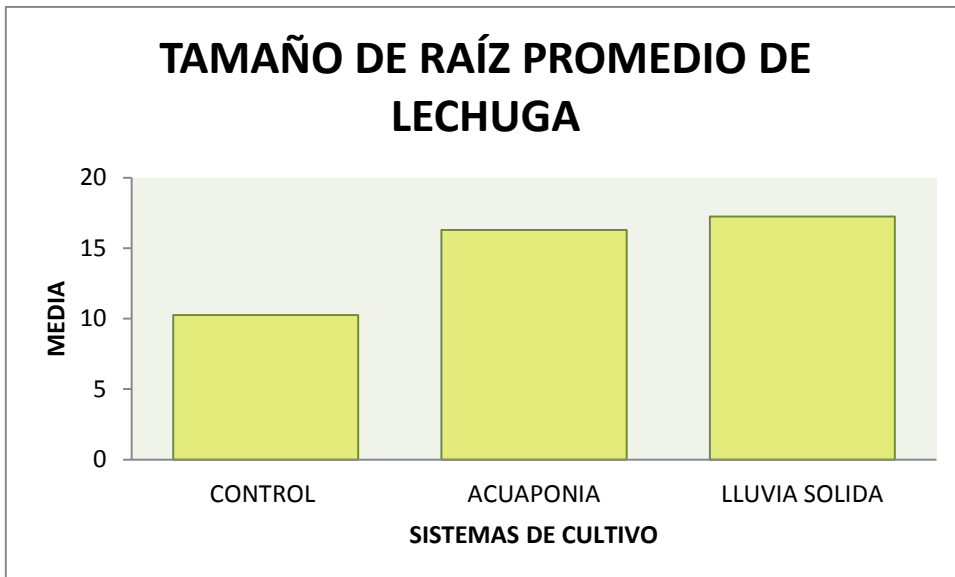
Gráfica 6. Media correspondiente a la variable altura de la semana 6 en lechuga.

En cuanto a la variable número de hojas, se obtuvo la media de los 3 SC y T1 ACUAPONÍA- LECHUGA presentó un mayor número de hojas desarrolladas con una media de 9 seguido de T5 CONTROL- LECHUGA con una media de 8, y T3 LLUVIA SÓLIDA-LECHUGA con una media de 7.2 (Gráfica 7).



Gráfica 7. Media correspondiente a la variable Número de Hojas de la semana 6 en lechuga.

El tamaño de raíz se midió en la semana 6, una vez que las 6 semanas de análisis se concluyeron se extrajeron las plantas de los sustratos donde se encontraban



Gráfica 8. Media correspondiente a la variable tamaño de raíz de la semana 6 en lechuga

En cuanto a la variable Tamaño de raíz, se obtuvo la media DE LOS 3 SC y T3 LLUVIA SÓLIDA- LECHUGA presentó mejor crecimiento radicular con una media de 17.25 a comparación con el control que obtuvo una media de T CONTROL- LECHUGA con una media de 10.25, y T1 ACUPONÍA-LECHUGA con una media de 16.29. (Gráfica 8).

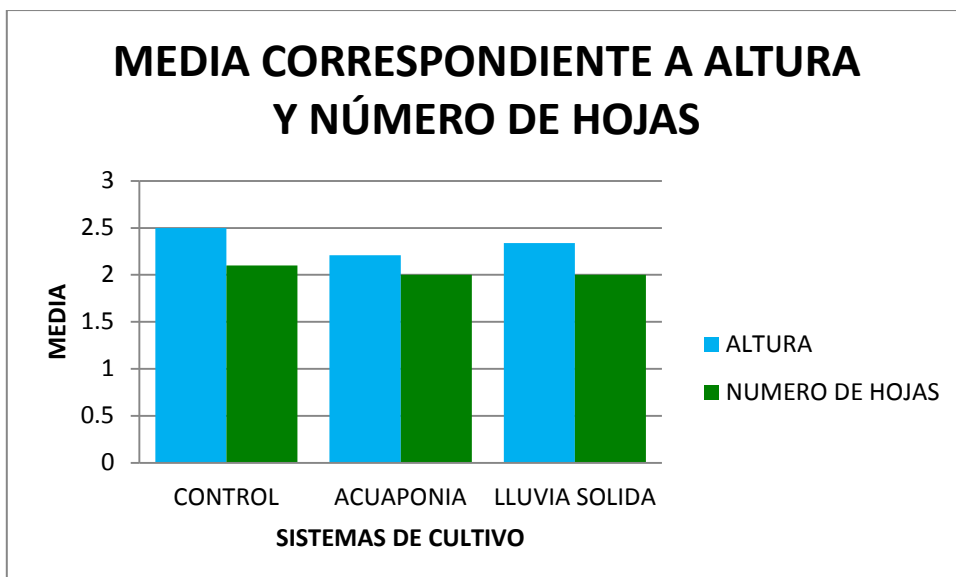
8.6 Análisis de media proporcional a la variable altura de Acelga en la semana 1

Con respecto a la hortaliza acelga se realizaron los mismos análisis que a Lechuga, semana a semana tomando los datos de las semanas 1, 3 y 6 correspondientes de las variables altura, número de hojas y tamaño de raíz. En los 3 Sistemas de Cultivo

Cada Sistema de Cultivo presento diferencias significativas, debido a que los Sistemas de Cultivo (SC) son diferentes a comparación de Sistema Tradicional (CONTROL POSITIVO), en este caso se utilizó como fuente de nutrientes el agua de trucha debido a que los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (generalmente peces) sirven como fuente de alimento para las plantas (Ramírez *et al*, 2008). Y lluvia sólida se adhiere a las raíces de las plantas y este se humedece lo suficiente para que aproveche el agua necesaria. (Velasco, 2012).

De acuerdo a las variables altura y número de hojas promedio de acelga de la semana 1 no se mostraron resultados muy notorios debido a la adaptación de la acelga a cada Sistema de Cultivo.

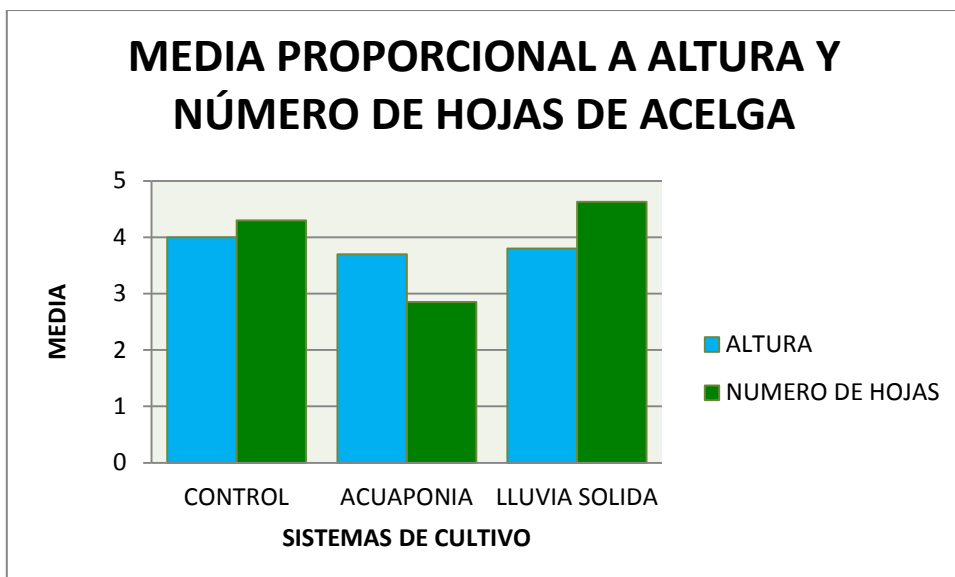
Se observa que T2 ACUAPONÍA – ACELGA presenta una media en las variables altura y número de hojas de 2.21 y 2 en cuanto a T4 LLUVIA SÓLIDA-ACELGA obtuvo una media de 2.34 y 2.34 en las variables altura y número de hojas según corresponde. A comparación de T6 CONTROL- ACELGA que presentó una media de 2.5 en número de hojas una media de 2. (Gráfica 9).



Gráfica 9. Media correspondiente a la semana 1, en color azul se presenta la media de la variable Altura y en color verde la media de la variable número de hojas en acelga

8.7 Análisis de media proporcional a la variable altura y número de hojas de Acelga en la semana 3

En cuanto a la semana 3 se pudo observar (Gráfica 10) que se muestra que T4 LLUVIA SÓLIDA– ACELGA presenta una media 4.63 y se percibió que el gel se encontraba focalizado en la raíz de la acelga y aun se encontraba hidratado en cuanto T2 LLUVIA SÓLIDA-ACELGA no tuvo buen crecimiento y desarrollo de hojas, ya que la acelga en su desarrollo si se encuentra, con abundante agua presenta un estrés hídrico y no se desarrolla adecuadamente una obteniendo una media de 2.85 en la variable Altura de acelga y 3.7 en la variable número de hojas a comparación de T6 CONTROL- ACELGA que presentó en las variables altura y número de hojas una media de 4.3 y 4 correspondientemente.

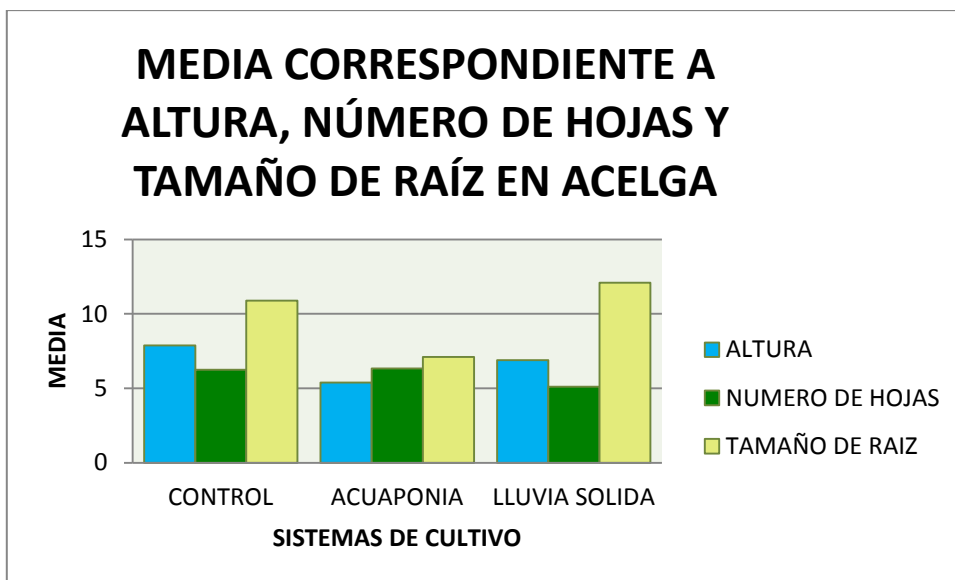


Gráfica 10. Media correspondiente a la semana 3, en color azul se presenta la media de la variable Altura y en color verde la media de la variable número de hojas en acelga

8.8 Análisis de media proporcional a la variable Altura, Número de hojas y tamaño de raíz de Acelga en la semana 6

De acuerdo a la semana 6 y el análisis de los SC en las variables altura, número de hojas y tamaño de raíz (El tamaño de raíz se midió en la semana 6, una vez que las 6 semanas de análisis se concluyeron se extrajeron las plantas de los sustratos donde se encontraban), se obtuvieron las medias proporcionales de cada variable para observar que variedad mostraba una mejor adaptación y desarrollo a los SC. En T2 ACUAPONÍA- ACELGA se observó que el cultivo de acelga en raíz flotante no es muy favorable debido a que sufrió un estrés hídrico teniendo una media correspondiente a la variable Altura de 5.38 y de las variables Número de hojas y Raíz una media de 6.33 y 7.1. En cuanto corresponde al T4 LLUVIA SÓLIDA-ACELGA se tuvo una media que corresponde a la variable altura de 6.89, en la variable número de hojas y raíz se obtuvo una media de 5.11 y 12.1. Compararse con un Sistema Tradicional (CONTROL) que a pesar de la disponibilidad de riego y factores climáticos se observó que la acelga soportaba largos ciclos sin agua presento mejor desarrollo teniendo una media para las

variables altura, tamaño de raíz expresados en cm de 7.88 y 10.9 correspondientemente, y en la variable tamaño de raíz de 6.33. (Grafica 11).



Gráfica 11. Comparación de Media correspondiente a la semana 6, en color azul se presenta la media de la variable altura, en color verde la media de la variable número de hojas y en color amarillo tamaño de raíz en acelga

El sistema de cultivo con el índice más alto de supervivencia de hortalizas fue el de lluvia sólida, debido a que el poliacrilato de potasio y las perlas de hidrogel fueron hidratadas con agua de trucha al 100 % y no estuvieron expuestas a los cambios bruscos de clima, disponibilidad de nutrientes bio asimilables.

8.9 Altura de la planta

Para la variable altura de la planta (expresada en cm) al realizar el análisis de varianza se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas, por lo que se procedió a realizar la prueba de comparación de medias entre Tratamientos Tukey ($\alpha = 0.01$). Por medio de esta prueba se determinó que los tratamientos 3 (Lluvia sólida – lechuga) y 4 (Lluvia sólida - acelga) presentaron un mayor

desarrollo en cuanto a la altura de la planta se refiere que fue de 4.76 y 4.34 en forma respectiva. (Tabla 1).

Al analizar la prueba de Tukey $\alpha = 0.01$) el tratamiento 3 y tratamiento 4 son estadísticamente iguales mientras que el tratamiento 2 (acuaponía-aceлга) no presentó un desarrollo foliar con un resultado de 3.33. (Grafica 12).

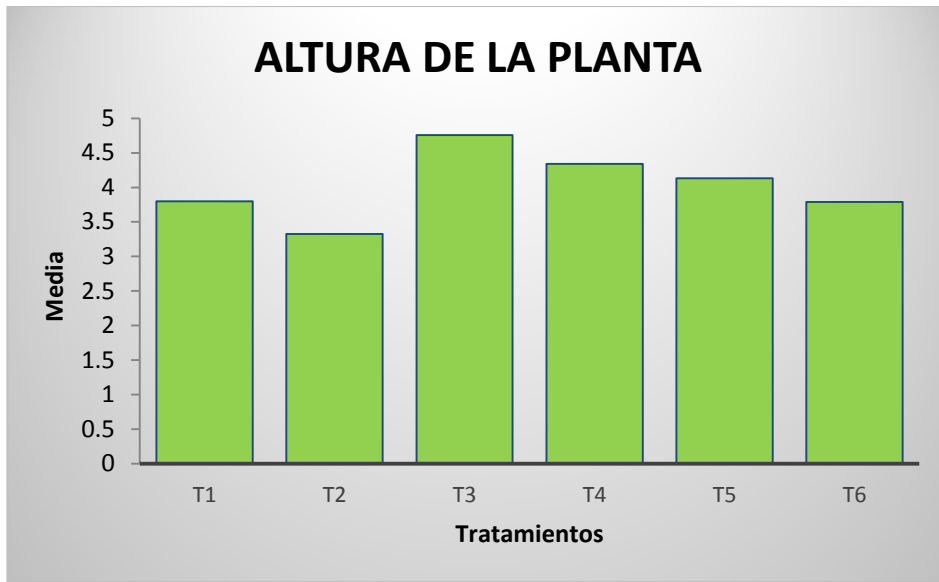
Cuadro. 5. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable Altura de la planta

ANÁLISIS DE VARIANZA ALTURA DE PLANTA							
Factor de variación	de	Grados de libertad	de	Suma de cuadrados	Cuadro medio	Factor calculado	Factor de tablas ($\alpha=0.01$)
TRATAMIENTOS		5		12.45	2.49	3.18	2.39
ERROR		54		42.31	0.78		
TOTAL		59		54.75			

Tabla 1 Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable de Altura de plantas

TRATAMIENTO	MEDIAS	Agrupación Tukey ($\alpha = 0.01$)
T3	4.76	A
T4	4.34	A
T5	4.13	A
T1	3.80	A
T6	3.79	A
T2	3.33	B

Las medidas con la misma literal son estadísticamente iguales.



Grafica 12. Análisis de la altura de las hortalizas en los diferentes tipos de cultivo

8.10 Análisis de varianza para la variable Número de Hojas

En cuanto a la variable número de hojas desarrolladas en la semana 6 después del trasplante, se contabilizaron las hojas desarrolladas semana a semana consecutivamente de las hortalizas lechuga y acelga.

Se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas de acuerdo a la prueba Tukey ($\alpha = 0.01$), determinando que el tratamiento 1 (acuaponía - lechuga) y 3 (lluvia sólida - lechuga) presentaron un mayor número de hojas desarrolladas de la planta con una media de 5.01 y 4.33 en forma respectiva. (Tabla 2). Y que el tratamiento 2 (acelga – acuaponía) no presentó un buen desarrollo en las hojas debido a que la acelga no requiere de cantidades fuertes de agua.

Tabla 2. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable de Numero de Hojas

TRATAMIENTO	MEDIAS	Agrupación Tukey ($\alpha = 0.01$)
T1	5.01	A
T3	4.33	A
T6	3.91	B
T4	3.82	B
T5	3.81	B
T2	3.68	B

Las medidas con la misma literal son estadísticamente iguales.

Cuadro 6. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable Numero de Hojas

ANÁLISIS DE VARIANZA NUMERO DE HOJAS						
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadro medio	Factor calculado	Factor de tablas($\alpha=0.01$)	
TRATAMIENTOS	5	12.64	2.53	4.49	2.39	
ERROR	54	30.41	0.56			
TOTAL	59	43.05				

Grafica 13. Resultados de número de hojas



8.11 Análisis de varianza para la variable Tamaño de raíz

De acuerdo a los resultados obtenidos para la variable Tamaño de raíz se observaron diferencias altamente significativas de referencia entre tratamientos.

Al realizar la prueba de comparación entre medias por el método de Tukey (expresado en centímetros), se detectó que el T3 (Lluvia sólida - lechuga) estadísticamente presentó mayor crecimiento radicular (16.75 cm), mientras que el T2 (acuaponía- acelga) presentó el resultado más bajo en crecimiento radicular (5.57 cm). (Gráfica 14).

Tabla 3. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable tamaño de Raíz

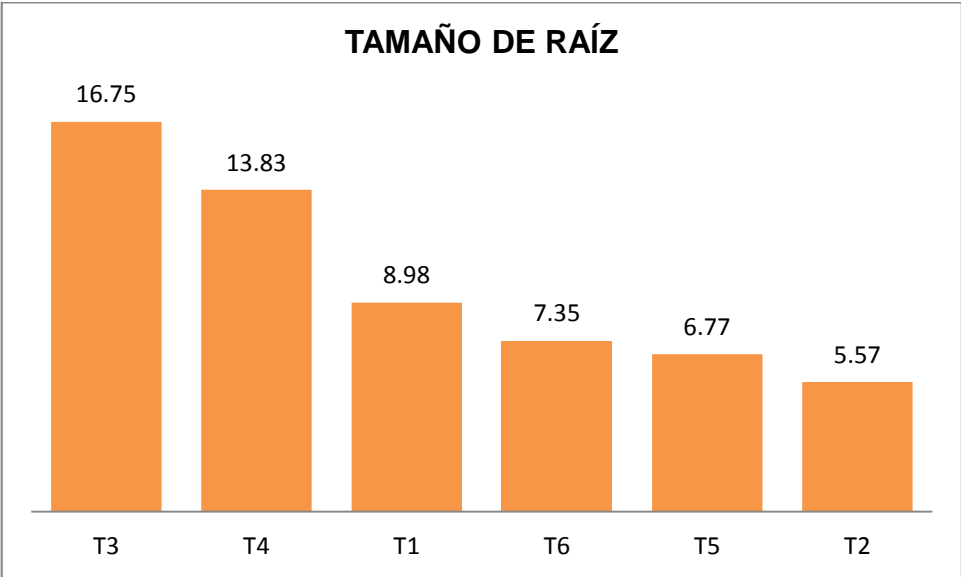
Análisis de varianza tamaño de raíz					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadro medio	Factor calculado	Factor de tablas($\alpha=0.01$)
TRATAMIENTOS	5	983.25	196.65	48.63	2.39
ERROR	54	218.35	4.04		
TOTAL	59	1201.6			

Cuadro 7. Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable Tamaño de Raíz

TRATAMIENTO	MEDIAS	Agrupación Tukey ($\alpha = 0.01$)
T3	16.75	A
T4	13.83	B
T1	8.98	C
T6	7.35	C
T5	6.77	C
T2	5.57	CD

Las medidas con la misma literal son estadísticamente iguales.

Gráfica 14. Resultados de tamaño de raíz expresados en cm.



IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

Conforme a los resultados obtenidos en este trabajo se llegó a las siguientes conclusiones

1. Al comparar los tres sistemas de cultivo se notó que los sistemas de cultivo (T1 Acuaponía- lechuga, T3 Lluvia sólida-Lechuga, T4 Lluvia sólida - acelga) presentaron mayor crecimiento en las variables Altura y número de hojas y aunque estos fueron los (SC) Sistemas de Cultivo que tuvieron una fuente de nutrientes del agua de trucha.
2. Los sistemas de cultivo (Acuaponía, Lluvia sólida) utilizados son formas sostenibles, que permiten el aprovechamiento de los derivados metabólicos de los organismos acuáticos en condiciones de cultivo para el crecimiento de plantas comestibles.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos, los sistemas de cultivo con mejor resultados de acuerdo a los parámetros analizados fueron T3 lluvia sólida – lechuga y T4 lluvia sólida - acelga en las variables altura de la planta y número de hojas.
4. Se determinó que Lechuga y Acelga presentaron diferencias entre los sistemas debido a las condiciones que presentó cada uno.

9.2 Recomendaciones

1. De acuerdo a la investigación que se realizó se recomienda dar seguimiento para determinar más a profundidad el efecto del Poliacrilato de potasio con el agua de trucha y de igual manera profundizarse en cada uno de los compuestos presentes en el agua de trucha de los estanques de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla.
2. Realizar más experimentos con otro tipo de hortalizas sobre la producción en acuaponía en los estanques de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla.
3. Dar seguimiento a la producción con Poliacrilato de potasio e hidrogel y experimentar con otro tipo de sustratos para la producción de hortalizas.
4. Experimentar en los tratamientos con más variedades de hortalizas y en sus diferentes etapas fenológicas.
5. En cuanto al agua de los estanques de la Universidad Interserrana del Estado de Puebla Chilchotla se recomienda una mejor sanidad, evitando el estancamiento de sedimentos en los estanques donde se encuentran las truchas para evitar parasitosis.

X. BIBLIOGRAFIA

Bacópulos Téllez Elyn, (2001), Olericultura, Departamento de horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.p.3.

Calero Cárdenas, María Belén; Villavicencio Castro, Juan Andrés (2016). Evaluación del efecto del probiótico comercial "bio-probiotic-c" en el ciclo productivo de la trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*). Facultad de Ingenierías y Ciencias Agropecuarias. UDLA. Quito. 73 p

Dassow, J.A. and M.A. Steinberg, 1973, The technological basis for development of aquaculture to produce low-cost food fish. Mar.Fish.Rev., 35(11):6-13.

DIVER, S. Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. En: ATTRA (Sustainable Agriculture Information Service) and National Center for Appropriate Technology. No.163. (1996); p1-20.

García Zumel Manuel, 2013, El cultivo de la acelga, The chard growing, E.T.S.I.I.A.A. de Palencia-Universidad De Valladolid, p.12.

GIACONI, M. 1990. Cultivo de hortalizas. 7ª ed. Santiago, Chile. Universitaria. 308 p.

EL UNIVERSAL, "Mexicano crea lluvia sólida, alternativa en sequía", http://www.eluniversal.com.mx/articulos_h/68264.html, (01/04/2012).

FIRA, 1998, La modernización del riego. Base de una agricultura competitiva y sustentable, *Boletín Informativo*, Núm. 303, Volumen XXXI

Fundación produce A.C., (2011). Análisis estratégico de transferencia de tecnología e invocación en las cadenas prioritarias en el estado de Puebla, agenda de innovación, México, Puebla.

Hernández Barraza, César A., Aguirre Guzmán, Gabriel, López Cantú, David G., Sistemas de producción de Acuicultura con recirculación de agua para la Región Norte, Noreste y Noroeste de México Revista Mexicana de Agronegocios, 2009, (Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2017) Disponible en: <<http://222.redalyc.org/articulo.oa?id=14118560012>> ISSN 1405-9282.

Horticultura, Manuales para educación agropecuaria, Editorial Trillas, México, 1986, p. 19.

García, García, José Odón, La agricultura de riego y el riego con aguas negras, Revista electrónica de la fevaq.

Katime, I. 2004, Los Materiales inteligentes de este milenio: los hidrogeles macromoleculares. Síntesis, propiedades y aplicaciones. 1º ed. ISBN 8483736373.

León Yáñez, Jessica Alexandra, El consumo de hortalizas crudas (Lechuga "*Lactuca sativa*" y tomate ("*lycopersicum esculentum*") y su incidencia en la generación de etas en el mercado central de la ciudad de Ambato, 2007.

Montero O., Milton. (2011). Comportamiento agronómico de la lechuga (*Lactuca sativa*) con tres tipos de fertilización orgánica en el sector El Paraíso cantón Biblián, Provincia del Cañar. 46 p.

Muñoz-Gutiérrez M.E. 2012. Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador Técnico. Edición 76. Enero - diciembre 2012. pp. 123-129.

Paz González Adriana A., Ortiz Gómez Arnulfo, Lluvia sólida una alternativa de producción de hortaliza para el consumo familiar ante la sequía del país, División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, 2012.

Peña de Paz, Francisco, 1997, *Los límites del riego agrícola con aguas negras en el valle del Mezquital*, Tesis de Maestría, Universidad Iberoamericana, México, Distrito Federal.

Pinzón, N., Espinosa, A., Perilla, J., and Katime, I. 2002. Modelamiento del hinchamiento y difusión de solutos en hidrogeles. *Revista Iberoamericana*. Vol.3 no.2, p. 38–54.

PROMOSTA, 2005, *El cultivo de la lechuga*, Guías Tecnológicas de frutas y vegetales, Costa Rica.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P. Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture. En: SRAC Publication. No 454 (1992); p1-8.

SAGARPA, 2013 *Evaluación de Alternativas y Potencial de Comercialización para los Productos y Especies de Unidades Productivas con Escala Mínima Rentable del Estado de Puebla*, Estudio estratégico, México, Puebla.

Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales Y Pesca, Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, México, Semarnat, 1997,35p.

SEMARNAT (2005), *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Compendio de Estadísticas ambientales, México.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) con datos de la Comisión Nacional de Acuicultura y pesca (CONAPESCA), 2005.

Ortega Cide A. Román, *Recursos Acuícolas del Estado de Puebla*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) México, 2009.

Uribe Fazla, Sistemas biointensivos maximizan espacio, reducen costos y contaminación, 2009, [http://www.hortalizas.com/cultivos/sistemas -sistemas-biointensivos-maximizan-espacio-reducen-costos-y-contaminacion](http://www.hortalizas.com/cultivos/sistemas-sistemas-biointensivos-maximizan-espacio-reducen-costos-y-contaminacion).

Velasco Amaro, P. I., Calvario Martínez, O., Pulido Flores, G., Acevedo Sandoval, O., Castro Rosas, J., Román-Gutiérrez, A. D., Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México, Ingeniería [en línea] 2012, 16 (Septiembre-Diciembre) : [Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46725267007> .

XI. BIBLIOGRAFIA VIRTUAL

http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=147

<http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20LA%20LECHUGA.pdf>

http://www.economia.umich.mx/eco_old/publicaciones/EconYSoc/ES10_13.html

https://coin.fao.org/coinstatic/cms/media/14/13540578065280/libro_de_hortalizas_30-07-2012-3.pdf

http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/cambioclimatico/Tecnologias_mitigacion.pdf

<http://www.fao.org/3/a-at738s.pdf>

http://www.ag.auburn.edu/fish/documents/International_Pubs/Water%20Harvesting/GT6.pdf

<https://es.scribd.com/document/315457336/Ventajas-y-Desventajas-Agricultura-Organica-y-Convencional>

<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/003/x7156s/x7156s00.pdf>

XII. ANEXOS



Figura 17. Estanque de la universidad

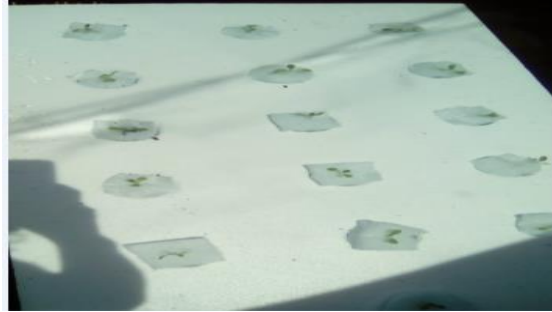


Figura 18. Placa con plantas de lechuga T1 semana 1



Figura 19. Placa de lechuga T1 semana 2



Figura 20. Placa de unisel con plantas de acelga T2 semana 2

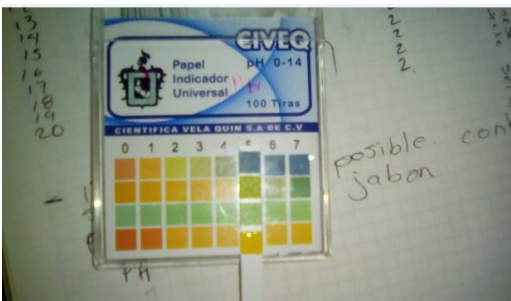


Figura 22. Medición de pH por presencia de jabón



Figura 21. Monitoreo de raíces



Figura 27. Planta de acelga semana 6 T2



Figura 25. plantas de acelga semana 6 T4



Figura 26. Plantas de lechuga T1 semana 6



Figura 24. plantas de acelga T4 semana 6



Figura 23. Plantas de lechuga T3 semana 1

Cuadro. 8. Presupuesto de inversión de estructura de acuaponía

Conceptos	Cantidad	Unidad de medida	Costo unitario	Total
ACTIVO FIJO				
Placas de Unicel.	2	Pieza	\$ 28.00	\$ 56.00
Hule espuma (5 cm de grosor).	2	Pieza	\$ 14.00	\$ 28.00
mallasombra	10	Metros	\$ 40.00	\$ 400.00
varillas	4		\$ 105.00	\$ 420.00
Alambre	1	rollo	\$ 30.00	\$ 30.00
Tubos	1	tubo	\$ 200.00	\$ 200.00
Codos	2	codos	\$ 35.00	\$ 70.00
Total				\$ 1,204.00

Cuadro. 9. Presupuesto de inversión de sistema de cultivo lluvia sólida

Conceptos	Cantidad	Unidad de medida	Costo unitario	Total
ACTIVO FIJO				
* Plántula de lechuga y acelga.	10			
* Cajas de madera (40 x 25 cm).	1	Caja	\$ 5.00	\$ 5.00
* Poliacrilato de potasio.	1	Paquete	\$ 30.00	\$ 30.00
* Perlas de hidrogel.	1	Paquete	\$ 28.00	\$ 28.00
* Bolsas de plástico negro.	1	Bolsa	\$ 5.00	\$ 5.00
* total				\$ 68.00

Cuadro. 10. Presupuesto de inversión por unidad

lluvia sólida				
* Plántula de lechuga y acelga.	5	plantas	5 kg de tierra	
* Cajas de madera (40 x 25 cm).	1	caja	\$ 5.00	\$ 5.00
* Poliacrilato de potasio.	0.1	gr	\$ 30.00	\$ 3.00
* Perlas de hidrogel.	0.1	gr	\$ 28.00	\$ 2.80
* Bolsas de plástico negro.	1	bolsa	\$ 5.00	\$ 5.00
* total				\$ 15.80
		total de cajas		
		4		\$ 63.20