CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

SISTEMAS AEROPONICOS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:
ING. YESICA RENDÓN AQUINO

CENTRO DE INFORMACIÓN
21 OCT 2013
RECIBIDO

SALTILLO, COAHUILA OCTUBRE, 2013.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

SISTEMAS AEROPONICOS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:
ING. YESICA RENDÓN AQUINO

Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar
ASESOR

CENTRO DE INFORMACIÓN
21 OCT 2013
RECIBIDO

SALTILLO, COAHUILA OCTUBRE, 2013.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

SISTEMAS AEROPONICOS EN AGRICULTURA PROTEGIDA

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:
ING. YESICA RENDÓN AQUINO

SINODALES:

CENTRO DE INFORMACIÓN
21 OCT 2013
RECIBIDO

Dr. Marco A. Arellano García

Dr. Marco Castillo Campohermoso

SALTILLO, COAHUILA

OCTUBRE, 2013

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor gracias por darme fortaleza y paciencia en el ámbito profesional, y estar siempre presente en aquellos buenos y malos momentos de mi vida, por la fuerza que me brindas para salir adelante todos los días.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada. por la gran oportunidad brindada durante la especialidad, por transmitir enseñanza y aprendizaje a través de sus maestros colaboradores del Departamento de Agroplasticos, por ser mí segunda casa durante un año profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su gran apoyo económico y de esta forma contribuir hasta el término de la Especialidad en Química Aplicada, Opción "Agroplasticultura".

Al Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar, por su valiosa participación en la elaboración de este documento, por transmitir conocimientos y experiencia, así también por prestar el tiempo y apoyo necesario para que este se lograra.

Al Dr. Marco Arellano, gracias por su gran enseñanza brindada durante el periodo de la especialidad, por esa transmisión de conocimientos profesionales, por su participación y comprensión para lograr este trabajo, y también por ser un gran maestro, amigo y persona.

Al Dr. Marco Castillo, por aportar su valioso conocimiento y experiencia profesional para lograr el término de este caso de estudios, y por formar parte del comité en este trabajo.

A los MC. Juanita Flores y Eduardo Treviño, gracias por brindar sus valiosos conocimientos durante la especialidad, por ser excelentes maestros, y también por esos buenos consejos.

Y a los profesores del Departamento de Polímeros, por sus conocimientos aportados en clases durante la especialidad.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Gracias por darme la vida, amor, cariño, comprensión, valores, principios, confianza, consejos, coraje y apoyo incondicional que me han permitido ser lo que ahora soy, gracias por impulsarme a seguir siempre adelante y no quebrantarme en las adversidades, los amo.

A MIS HERMAN@S

Gracias por su amor, por todos esos buenos y malos momentos que hemos vivido juntos, por su confianza y apoyo brindado durante todos estos años, los quiero mucho a todos y cada uno de ustedes.

A MI ESPOSO

Gibrán Jaciel Alejandro Rojas

Gracias por todo el amor, cariño, apoyo incondicional y momentos maravillosos que me has brindado siempre, por impulsarme a prepararme cada día, por ser ese amigo, compañero y pareja extraordinaria con quien siempre puedo contar, por ser un gran hombre, te amo mi amor.

A MI HIJA

Fernanda Ayelén Alejandro Rendón

Gracias princesa por llegar a mi vida, por todo tu amor, cariño, ocurrencias y todo lo lindo que me has enseñado, por esos hermosos momentos que hemos pasado juntas, eres mi todo, mi pieza fundamental para seguir preparándome día con día, y sabes que siempre serás mi gran amor, te amo chiquita hermosa.

A MIS SUEGROS Y CUÑADOS

Gracias por todo el apoyo y cariño que me han brindado siempre, por ser excelentes personas y amigos, y por formar parte de mi familia.

A MIS TI@S Y PRIM@S

Gracias por el amor y cariño que siempre me han tenido, por confiar en mí, y compartir lindos momentos inolvidables, y también por ser mi familia, los quiero mucho a todos.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DEL CIQA

Pedro Elías, Enrique, Eleazar, Gera, Enrique Alonso, Ray, Eriberto, Luz, Adriana y Lily

Por compartir lindos momentos durante el tiempo en la especialidad, por ser lindos compañeros y amigos con los cuales compartí buenos momentos, los voy a extrañar, no cambien chicos se les estima y se les quiere.

ÍNDICE

Paginas

I. INTRODUCCIÓN **1**

1.1 OBJETIVO 3

II. REVISION BIBLIOGRAFICA **4**

2.1 Uso eficiente del agua en la agricultura 4

2.2 Origen de la agricultura protegida 5

2.3 En qué consiste la agricultura protegida 6

2.4 Importancia de la agricultura protegida 7

2.5 Diferencias entre hidroponia y acuaponia 7

2.5.1 Hidroponia 7

2.5.2. Acuaponia 8

2.6. Conceptos básicos de la aeroponia 9

2.7 Función de la aeroponia 9

2.8 Tipos de sistemas aeropónicos 10

2.8.1 Sistemas de baja presión 10

2.8.2. Sistemas de alta presión 10

2.8.3. Sistemas comerciales 11

2.8.4. Sistema aeropónico en contenedores 12

2.8.5. Sistemas de NFT modificados o recirculantes. 13

2.8.6. Sistemas aeropónicos horizontales multiestratos 14

2.8.7. Sistema aeropónico vertical 14

2.8.8. Sistemas aeropónicos en anaqueles triangulares 15

2.9. Ventajas y desventajas de la aeroponia 16

2.9.1. Ventajas de la aeroponia 16

2.9.2. Desventajas de la aeroponia. 16

3. Sistemas de conducción de las plantas en la aeroponia 17

3.1. Espaciamiento o arreglos topológicos en aeroponia 19

3.2. Cultivos aeropónicos más comunes 20

3.2.1. Hortalizas 20

3.2.2. Plantas medicinales y aromáticas 21
3.2.3. Leguminosas 22
3.2.4. Frutales 22
3.3. Importancia económica de la aeroponia 22
3.4. Componentes de un sistema aeropónico 23
3.5. Soluciones nutritivas en la aeroponia 24
3.6. El fertirriego 30
3.7. Sistemas o equipo de fertirriego 30
3.8. Componentes del sistema de riego 31
IV. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO EN AEROPONIA 32
V. ALCANCES 35
VI. ÁREAS DE OPORTUNIDAD 37
VII. CONCLUSIONES 39
VIII. LITERATURA CITADA 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Pagina

Figura 1. Volumen en porcentajes de descargas de aguas residuales en México. 4
Figura 2. Cultivo de yerbabuena en un sistema hidropónico tipo NFT. 7
Figura 3. Esquema que ilustra un sistema hidropónico en un ambiente cerrado y con ambiente controlado. 8
Figura 4. Sistema aeropónico de baja presión que permite la producción de hortalizas como lechuga en diferentes estratos del sistema de soporte. 10
Figura 5. Sistema aeropónico utilizando dispositivo de alta presión con cultivos hortícolas intercalados. 11
Figura 6. Sistemas comerciales aeropónicos verticales en ambientes totalmente cerrados y con control variables ambientales o del microclima. 12
Figura 7. Sistemas aeropónicos en contenedores. 13
Figura 8. Sistema recirculante hidropónico de NTF con un cultivo de lechuga. 13
Figura 9. Sistema hidropónico horizontal con multiestratos utilizando tubos de PVC. 14
Figura 10. Cultivo de lechuga en sistemas aeropónicos verticales rotacionales. 15
Figura 11. Sistema de aeroponia en anaqueles triangulares con multicultivos hortoflorícolas. 15
Figura 12. Conducción horizontal de las planta en el cultivo de papa en aeroponia. 17
Figura 13. Conducción de las plantas en forma vertical en el cultivo de papa con sistemas aeropónicos. 18
Figura 14. Conducción de las plantas en forma de cascadas en un sistema aeropónico. 18
Figura 15. Cajón aeropónico cubierto lateralmente con película de poliestireno, y protegido en la parte interior con plástico negro. 19
Figura 16. Producción de minitubérculos de papa en el sistema aeropónico. 20

ÍNDICE DE CUADROS

Pagina

Cuadro 1. Elementos minerales clasificados de acuerdo a los requerimientos de la planta. 25
Cuadro 2. Nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas 26
Cuadro 3. Nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas 27
Cuadro 4. Soluciones Nutritivas que fueron modificadas por Hoagland..... 28
Cuadro 5. Relación mutua entre aniones y cationes en base al porcentaje total de molc de diferentes soluciones nutritivas respecto a otros autores..... 29

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso limitado y se considera la fuente principal en el equilibrio de los ecosistemas, ya que varía ampliamente desde una abundancia en ciertas regiones hasta la gran escasez que existe en las zonas áridas de todo el mundo. Por lo tanto, se ha establecido el abastecimiento de agua como prioridad a las poblaciones urbanas, rurales, centros industriales, turísticos y agrícolas, de los cuales cada uno de ellos la requiere de manera indispensable para lograr desarrollarse. Es un factor limitante para la producción agrícola y ganadera; por este motivo se requieren técnicas sustentables que permitan utilizar el agua con mayor eficiencia (Medrano *et al.*, 2007).

El promedio anual de la disponibilidad de agua en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km^3, de los cuales 97.5% es agua salada y sólo 2.5%, es decir 35 millones de km^3, es agua dulce. De esta cantidad el 70% no está disponible para consumo humano porque se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. Del agua que prácticamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en ríos, lagos, depósitos subterráneos poco profundos, y humedad del suelo cuya renovación es producto de la infiltración. Parte de esta agua que se utiliza se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo que dificulta o encarece su utilización efectiva. México tiene un amplio desarrollo en el sector hidráulico y presenta avances importantes en infraestructura de riego, servicios de agua potable y alcantarillado, hidroelectricidad y, acuacultura entre otros, sin embargo, se ha visto afectado principalmente por la sobrepoblación y la explotación desmedida de los mantos acuíferos; la salinidad provocada por el uso irracional del agua de riego de mala calidad, la distribución que se le asigna y los usos inadecuados que los seres humanos realizan (Herrera, 2011).

Actualmente en México este recurso hídrico hace que la disponibilidad en algunas regiones sea diferente en los Estados del centro y norte del país, ya que el agua dulce también se ve reducida por la contaminación debido que unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos de industrias, químicos, desechos agrícolas, como fertilizantes, pesticidas, fungicidas y excretas de humanos. Se ha llegado a estimar que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1,500

km^3, comprobando que un litro de agua residual contamina 8 litros de agua dulce, por lo tanto la carga mundial de contaminación puede ascender a 12,000 km^3 de agua.

De acuerdo a lo anterior con la agricultura protegida, técnicas de agroplásticultura, y los sistemas aeropónicos se busca eficientar el uso y manejo del agua a través del sistema de riego presurizado que brinda grandes beneficios para hacer más eficiente la distribución y aprovechamiento de este recurso escaso y caro, por lo tanto, es necesario modernizar y tecnificar la infraestructura hidro-agrícola en nuestro país, ya que el riego tecnificado actualmente es de 13% teniendo una eficiencia de 88 a 95%; sin embargo, a nivel nacional tiene una eficiencia de 40 a 72% en conducción, y 36% en la aplicación.

1.1 OBJETIVO

Revisar la literatura respecto a los diferentes sistemas aeropónicos utilizados en la agricultura protegida que pueden ser utilizados para la producción de cultivos hortícolas, flores, follaje, etc. Para que con la información recabada sobre esta tecnología se ponga en perspectiva el potencial que puede tener como una opción sustentable que complemente a los sistemas de alta tecnología para la producción de cosechas rentables y de alta calidad en el ámbito de la agroplasticultura.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso eficiente del agua en la agricultura

La conservación y el manejo del agua es de mucha importancia en los diferentes sistemas de cultivos (Altieri, 2004), sin embargo, frente a los diversos problemas que presenta la escasez de agua, los agricultores implementan técnicas de manejo de cultivos que permitan mejorar la cobertura del suelo para evitar los escurrimientos y evaporación, además de optar por los sistemas integrados de agricultura y acuacultura son adaptados a la distribución y cantidad de lluvias por ciertas temporadas durante el año. La actividad agrícola demanda agua residual por la necesidad de un abastecimiento regular que compense la escasez del recurso, por causa de la distribución irregular de la oferta de otras fuentes de agua a lo largo del año, (Lara y Hernández, 2003). Oficialmente se ha señalado que el total de descargas de aguas residuales en México es del orden de 30.5 km^3, correspondiendo 60.9% a los excedentes agrícolas, 24% a los municipios y 7% a la industria (Figura 1). De acuerdo a los diversos problemas que enfrenta la humanidad por la escases de agua, se ha llegado a reutilizar las aguas residuales, que son utilizadas para el riego en casi 10% de los cultivos en el mundo.

Los agricultores en México que están establecidos en esas áreas urbanas, conocen los beneficios para optar por este tipo de aguas en el sector agronómico, y debido a que no tiene costo alguno, existe una gran abundancia de este recurso residual, aun durante las épocas de sequias en diversos estados del país (Scott *et al.*, 2004).

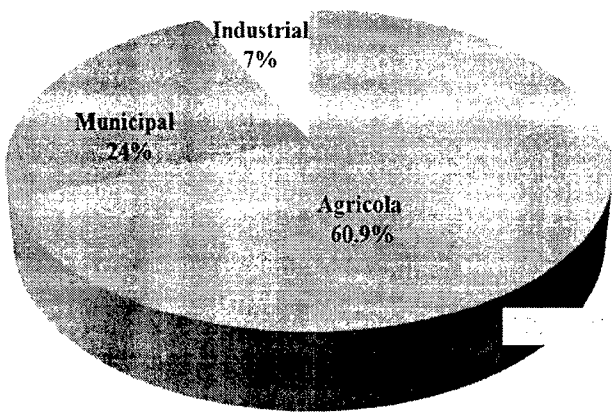

Figura 1. Volumen en porcentajes de descargas de aguas residuales en México (Tomado de: INEGI/SEMARNAT, 2000).

Debido a lo antes señalado hoy en día se utiliza con frecuencia el riego por goteo, el cual se ha introducido en el agro desde hace algunas décadas a causa de su grado de eficiencia, ya que con este método de riego se logra minimizar las pérdidas por infiltración, escurrimiento superficial, y porque se adapta muy bien para satisfacer las necesidades hídricas durante el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que las plantas puede tomar el agua y nutrientes que necesitan, pero implica láminas aplicadas de riego pequeñas con mayor frecuencia o de manera continua. Por lo tanto, este tipo de riego proporciona grandes ventajas agronómicas y económicas, debido a que permite mejorar la eficiencia del riego y aplicación de fertilizantes, lo que mejora el desarrollo del cultivo y su nutrición a lo largo del año (Medina *et al.*, 2005).

2.2 Origen de la agricultura protegida

La producción de cultivos protegidos a nivel mundial se inició hace más de 50 años, en diferentes países como Holanda, Francia, Israel, Estados Unidos, Brasil, Italia y Japón entre otros, ya que han desarrollado avances significativos con este sistema de producción, permitiendo obtener excelentes incrementos en los rendimientos de hasta 500% en algunos casos en comparación con el cultivo a campo abierto, que los ha llevado a ser altamente competitivos y establecerse en los primeros lugares de exportación de hortalizas, flores, etc., con este sistema de producción (Noreña, 2009).

Actualmente la horticultura protegida en México es uno de los componentes esenciales de la actividad agrícola de alta tecnología, al igual que en diferentes partes del mundo (Muñoz, 2003). Este se debe a su gran vinculación con la industria agroalimentaria nacional y de exportación. Se estima que a nivel mundial existan cerca de 280,000 has de frutas y hortalizas establecidas bajo condiciones de invernadero. Este tipo de agricultura se desarrolla en diferentes regiones y en diversas condiciones agroclimáticas donde se toman en cuenta factores como el clima, suelo y la calidad del agua, además se tiene estimado que 80% de los cultivos bajo condiciones protegidas se establecen directamente en suelo y el resto en algún tipo de sustrato (Castellanos, 2004).

2.3 En qué consiste la agricultura protegida

La agricultura protegida (AP) tiene como función producir alimentos bajo diferentes métodos de producción como: invernadero, túnel, micro túnel, cubiertas flotantes y, malla sombra, entre otros. Estos ayudan a ejercer un cierto grado de control sobre los diversos factores del medio ambiente dependiendo de la tecnología empleada, permitiendo con ello minimizar las extremas condiciones climáticas que se presentan en los diferentes cultivos y regiones. También brindan grandes beneficios como la producción de cultivos inocuos cuando se producen orgánicamente, así como incrementos en el rendimiento, producción todo el año, ahorro de agua y fertilizantes, suelos sin problemas de degradación, etc. (SAGARPA, 2012).

Este tipo de agricultura se considera una de las principales tendencias para la producción de cultivos hortícolas en estructuras cerradas cubiertas con materiales plásticos de polietileno, polipropileno u otro material, con el que se puede obtener condiciones controladas de temperatura, humedad, precipitación , heladas, plagas y enfermedades, adaptándolas a las diferentes estructuras que permitan la producción de diferentes cultivos (Ordoñez, 2010).

En México existen alrededor de 20.000 ha con AP, de las cuales aproximadamente 12,000 son de invernadero, esto debido a que brinda grandes beneficios que permiten obtener una producción limpia, trabajar en su interior durante los días lluviosos, y evitar los daños de roedores, aves, lluvia o el viento, entre otros y las otras 8.000 corresponden a malla sombra y macro túnel. El 50% de la superficie con AP se concentra en tres estados: Sinaloa, Baja California, Baja California Sur y Jalisco. Los principales cultivos que se producen son: tomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%). En los últimos años estas cantidades se han incrementado con la diversificación de cultivos como: papaya, fresa, chile habanero, flores y plantas aromáticas (SAGARPA, 2012).

Durante la última década se ha demostrado que la AP orgánica o sustentable es una opción muy promisoria para el campo mexicano, ya que es un método para la producción de alimentos con un nicho de mercado definido que va en constante aumento (Gómez y Schawentesius, 2004).

2.4 Importancia de la agricultura protegida

Se considera que es importante para la mayoría de los productores que la emplean debido al buen manejo de los cultivos que se pueden realizar, su rápido crecimiento, desarrollo y óptima producción de las plantas, la minimización significativa de los productos agroquímicos empleados, producción fuera de temporada, precocidad, aumentar los rendimientos, acortar los ciclos vegetativos y mejorar la calidad de los cultivos mediante el microclima controlado; además, es adecuada para agricultores de bajos y de altos recursos económicos (Otazú, 2010).

2.5 Diferencias entre hidroponia y acuaponia

2.5.1 Hidroponia

La agricultura hidropónica consiste en cultivar plantas utilizando soluciones minerales que son disueltas en agua con los elementos o nutrientes esenciales (Figura 2), ya sea directamente en agua con elementos minerales o en sustratos agrícolas inertes como arena lavada, perlita, vermiculita, aserrín, fibra de coco y, lana de roca entre muchos otros sustratos, en la cual las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada (Zacchini *et al.*, 2009). La hidroponia también puede realizarse en un ambiente cerrado y con ambiente totalmente controlado (Figura 3).

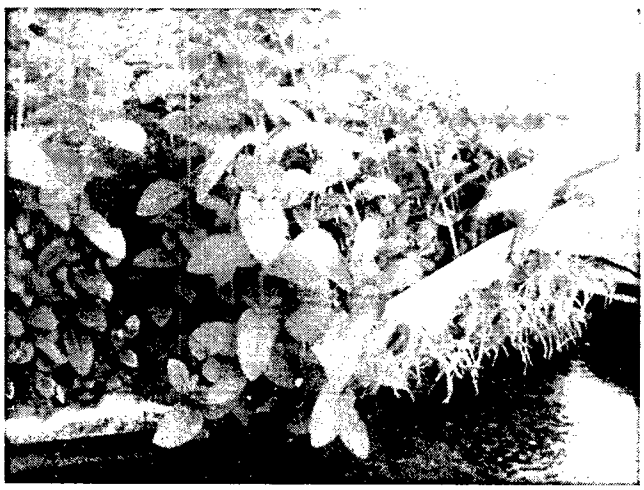

Figura 2. Cultivo de yerbabuena en un sistema hidropónico tipo NFT (Nutrient film technique).

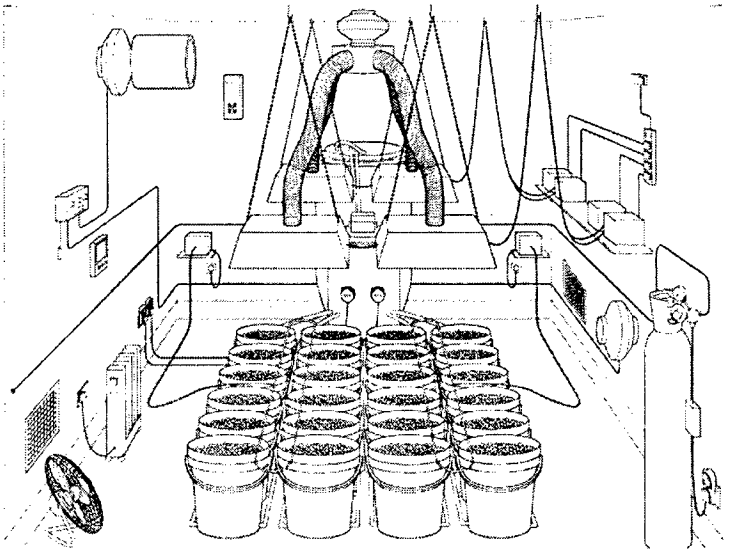

Figura 3. Esquema que ilustra un sistema hidropónico en un ambiente cerrado y con ambiente controlado.

Hoy en día la hidroponia está alcanzando gran auge en diferentes países del mundo, donde las condiciones para la agricultura resultan adversas, en el que combinan la hidroponia con un buen manejo del invernadero y se llegan a obtener rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto, es por eso la importancia de optar por esta técnica.

2.5.2. Acuaponia

La acuaponia es la producción de peces y plantas en donde ambos organismos se benefician uno del otro, ya que los desechos de los peces son utilizados como fuente de nutrición para los cultivos y donde, el agua que las plantas utilizan es recirculada para el uso de los peces, creando un sistema de producción cerrado. Este sistema, también es utilizado en fertirriego, producciones en campo abierto y para el manejo de sistemas orgánicos de producción (Meléndez, 2013).Una de las principales ventajas que genera este sistema es la relación costo: beneficio, el cual va disminuyendo cuando se aumenta la producción.

2.6. Conceptos básicos de la aeroponia

El término aeroponia se deriva de los términos griegos *aero* y *ponos* que significan respectivamente aire y trabajo; siendo este un proceso para cultivar plantas en un entorno aéreo o de agua nebulizada sin hacer uso del suelo. La aeroponia es un tipo de agricultura moderna, avanzada, y de alta tecnología, en el cual las plantas crecen suspendidas en el aire, utilizando el reciclaje de nutrimentos de la niebla que los asperja, a través del sistema de riego, que es suministrado periódicamente en forma de nebulización o rocío, permitiendo así un mayor crecimiento y desarrollo de los cultivos (Vázquez, 2012).

2.7 Función de la aeroponia

El principio básico de la aeroponia es que es un método seguro y ecológico para la producción de plantas y cultivos saludables, el cual permite mayor acceso al oxigeno, y en hacer crecer a las plantas en un medio o entorno cerrado, semi cerrado o al descubierto, regado con una solución rica en nutrientes a las raíces que se encuentran suspendidas en el aire, las cuales se sostienen con diversas estructuras de conducción o de apoyo, que funcionan como sostén del tallo de la planta con hilo de rafia o alambre que sostiene el follaje y el peso de los frutos del cultivo que se trate.

2.8 Tipos de sistemas aeropónicos

Existen sistemas aeroponicos que permiten la producción de diversos cultivos los más utilizados en la agricultura protegida son los que se describen a continuación:

2.8.1 Sistemas de baja presión

Este sistema de producción suele ser adecuado principalmente para el cultivo de lechuga, fresa y para demostraciones de los principios de aeroponia (Figura 4). Es frecuente en la mayoría de los jardines que se encuentra establecidos bajo sistemas aeropónicos; este consiste en la conexión de una bomba de baja presión, que arroja la solución nutritiva mediante transductores de ultrasonido que logran drenar en el depósito. En este caso las plantas logran crecer hasta alcanzar la madurez dentro de estas unidades, aunque tienden a sufrir a causa de tener zonas secas en las partes de sus raíces, lo cual impide una adecuada absorción de nutrientes. Otro inconveniente que presenta este tipo de sistema es que no poseen purificadores de nutrientes, ni remoción de desechos y patógenos indeseables.

Figura 4. Sistema aeropónico de baja presión que permite la producción de hortalizas como lechuga en diferentes estratos del sistema de soporte.

2.8.2. Sistemas de alta presión

Los sistema de aeroponia en alta presión incluye tecnologías para la purificación del aire y el agua, la esterilización de nutrientes, polímeros livianos y sistemas de suministro de

nutrientes presurizados. Aquí la niebla es generada por una bomba de alta presión a diferencia del sistema anterior; normalmente esta técnica se utiliza en cultivos de cosecha con alto valor económico, que logran compensar los altos costos de instalación de este método en la agricultura (Figura 5).

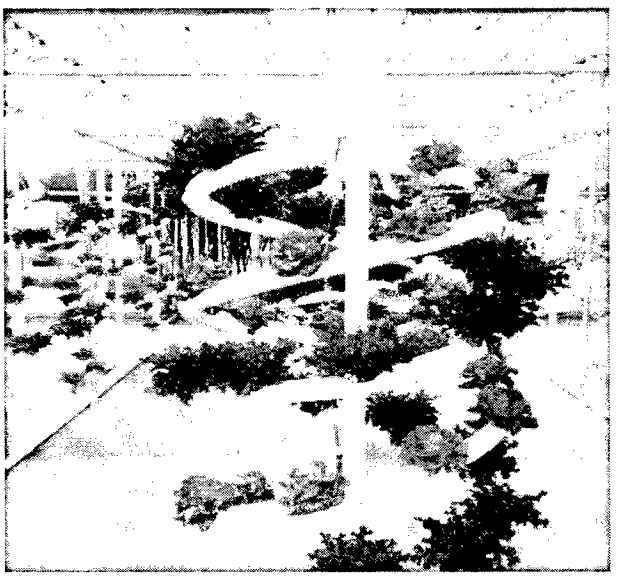

Figura 5. Sistema aeropónico utilizando dispositivo de alta presión con cultivos hortícolas intercalados.

2.8.3. Sistemas comerciales

El uso de estos sistemas optimizan el uso del suelo brindan luz, calor y un suelo virtual a los cultivos para producir cosechas provenientes de vitroplantas, incluyen equipos con un control de fluidos prevención de enfermedades, resistencia a patógenos, cronometraje de precisión, presurización de soluciones nutritivas, sensores de calefacción y refrigeración, control térmico de soluciones, iluminación con eficientes flujos de fotones, filtros de amplios espectros, protección con sensores a prueba de fallas, mantenimiento reducido, ahorro de trabajo, e innovaciones para la viabilidad a largo plazo y sistemas biológicos que incluyen mejorar la vida vegetal y maduración de los cultivos.

Estos sistemas son muy adecuados para regiones o países con grandes limitaciones de tierras de cultivo, o bien para la producción en zonas muy urbanizadas donde se aprovecha al

máximo los espacios, y para aquellas zonas donde hay suelos poco fértiles. Este sistema es utilizado en cultivos con alto valor económico en el que se realiza una agricultura vertical en ambiente totalmente cerrado y con control de las variables ambientales (Figura 6).

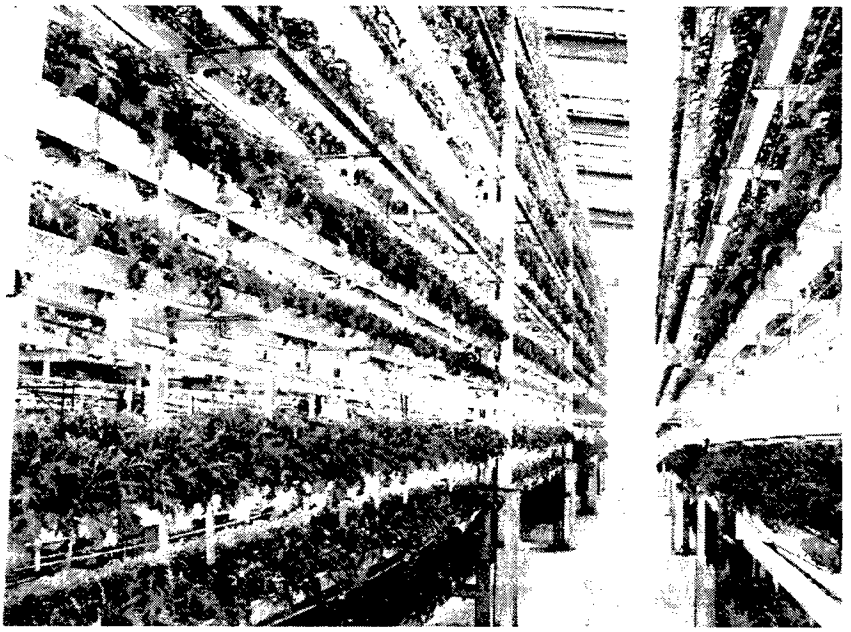

Figura 6. Sistemas comerciales aeropónicos verticales en ambientes totalmente cerrados y con control variables ambientales o del microclima.

2.8.4. Sistema aeropónico en contenedores

Este consiste en la aspersión de la solución nutritiva que va en la parte media del contenedor de plástico, y en la parte inferior consta de un tubo de drenaje que permite la recirculación de esta, para proporcionarle los nutrimentos adecuados al cultivo en cuestión (Figura 7).

Figura 7. Sistemas aeropónicos en contenedores utilizado en Florida, USA.

2.8.5. Sistemas de NFT modificados o recirculantes.

El sistema de NFT (Figura 8) fue desarrollado en la década de los sesenta por el doctor Allan Cooper en Inglaterra, ha sido utilizado en forma comercial en más de 68 países. El NFT es la técnica de la película de nutriente recirculante en el sistema hidropónico y actualmente en el aeroponico, también es el más popular en la producción de cultivos de hortalizas especialmente de hojas bajo invernadero a nivel mundial (Favela *et al.*, 2006).

Figura 8. Sistema recirculante hidropónico de NFT con un cultivo de lechuga.

2.8.6. Sistemas aeropónicos horizontales multiestratos

Estos sistemas generalmente son construidos con tubos de aproximadamente 10-15 cm de diámetro y 3m de largo, en la parte superior llevan una perforación en el que se colocan las plantas, teniendo estos de 20 a 50 cm de distancia, dependiendo del tipo de cultivo a utilizar. Los tubos son colocados horizontalmente sobre una armazón de madera o fierro que mantenga una pendiente de 0.50 a 0.25% para eliminar el exceso de solución nutritiva (Figura 9).

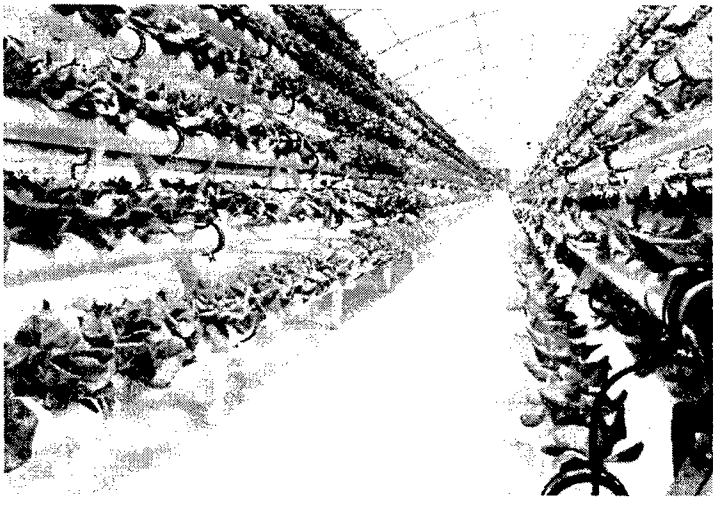

Figura 9. Sistema hidropónico horizontal con multiestratos utilizando tubos de PVC.

2.8.7. Sistema aeropónico vertical

Existen diferentes sistemas verticales, hay algunos llamados rotacionales, los cuales suelen llamarse estrellas productivas debido a la forma que toman los tubos cuando se encuentran instalados para la producción comercial y para optimizar el espacio dentro del invernadero. Estos tubos, giran constantemente para proporcionarle luz a todas las plantas, siendo comúnmente utilizado en el cultivo de lechuga y acelga (Cuellar, 2012). Este sistema utiliza tubos de PVC de 10 a 15cm de diámetro por 2m de largo, colocados verticalmente y cuenta con aproximadamente 3 perforaciones en las paredes. En la parte media consta de un tubo plástico de ½ pulgada en el que se encuentran colocados los nebulizadores (Figura 10).

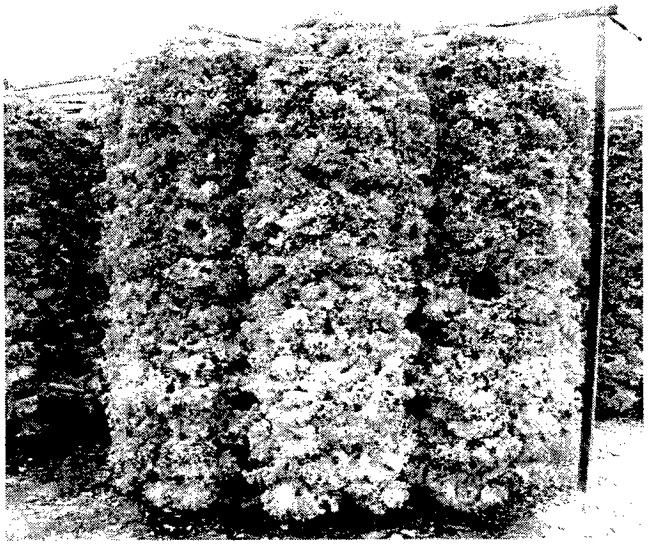

Figura 10. Cultivo de lechuga en sistemas aeropónicos verticales rotacionales.

2.8.8. Sistemas aeropónicos en anaqueles triangulares

Es un sistema en el que las plantas crecen en las perforaciones del poliestireno expandido que tiene forma de triángulo (Figura 11), cuenta con 3 caras con un metro de ancho y uno de largo cada una, los extremos son sellados totalmente, no permite el paso de luz, Tiene también un sistema de nebulización que asperja de 2 a 3 minutos la solución nutritiva sobre las raíces y en la base se recoge la solución para ser reciclada (Alvarado *et al.*, 2001). Generalmente este sistema funciona para la producción de cultivos de hojas de poca altura como las crucíferas, ornamentales o decorativos entre otros.

Figura 11. Sistema de aeroponia en anaqueles triangulares con multicultivos hortoflorícolas.

2.9. Ventajas y desventajas de la aeroponia

2.9.1. Ventajas de la aeroponia

Al utilizar los sistemas aeropónicos se disminuye la presencia de enfermedades fungosas, esto permite que las plantas de los cultivos se mantengan en constante crecimiento y desarrollo, con raíces más vigorosas y de rápido crecimiento. Por otro lado, los cultivos en el aire permiten optimizar los beneficios a diferencia de los cultivos hortícolas tradicionales sobre suelo o sustratos, que puedan dañar la producción con una calidad de suelo deficiente, una textura inadecuada, falta de nutrientes o presencia de plagas y enfermedades (Vázquez, 2012).

Otra de las ventajas de optar por la técnica de aeroponia es el abastecimiento de agua y fertilizantes que generalmente se encuentran en las soluciones nutritivas de sales y minerales, así también si una planta llegara a enfermarse, puede ser removida rápidamente sin ningún problema de su estructura de soporte sin desestabilizar al resto de las plantas (INFOAGRO, 2013).

2.9.2. Desventajas de la aeroponia.

Existen grandes desventajas en este tipo de sistemas, ya que requieren un mejor nivel de supervisión y mantenimiento, principalmente en la revisión del buen funcionamiento de los aspersores debido a que pueden existir taponamientos y por ende afectar directamente las raíces de las plantas por la falta de agua y nutrimentos. Por otra parte, los aspersores son sensibles a fallas eléctricas y al dejar de funcionar estos en periodos cortos, provoca daños irreversibles y también la muerte del cultivo (Otazú, 2010).

El optar por este sistema resulta costoso, además requiere de un conocimiento especializado del manejo de las soluciones nutritivas, ya que de acuerdo a esto puede afectarse totalmente a la producción. A medida que la planta se vaya desarrollando necesitará un mecanismo de apoyo para su propio sostén, ya que en esta técnica no existe un medio de crecimiento de suelo o sustrato que permita el anclaje de la misma. Además, si existe un

descuido en cuanto a la higiene se pueden infectar a las raíces de todas las plantas, y este puede influir para que se desarrollen hongos, algas y bacterias (Pérez, 2012).

3. Sistemas de conducción de las plantas en la aeroponia

El sistema de conducción de las plantas en invernaderos son de mucha utilidad para el cultivo después del trasplante ya que logran alcanzar una mayor altura, por el rápido crecimiento que estas muestran, para este mecanismo suelen utilizarse estacas, mallas de alambre, o rafia, del cual se logra sujetar a la planta para poder realizar las labores de asepsia que necesitan. Para ello se emplean tutores que pueden conducir al cultivo de diferentes maneras y brindarle mayor ventilación a las plantas. A continuación se muestran los sistemas de conducción más utilizados en invernaderos con técnicas aeropónicas como mallas de plástico, también llamado tútoreo horizontal, estos elementos tienden a mostrar un buen equilibrio en las plantas, por el doble tejido de malla que se emplea para cada línea (Figura 12).

Por la forma horizontal en que es colocada la rafia, se considera uno de los sistemas más funcionales y de fácil instalación, ya que muestra diferentes componentes y una relación adecuada entre las diferentes soluciones de agua con nutrientes a utilizar.

Figura 12. Conducción horizontal de las planta en el cultivo de papa en aeroponia.

Otro sistema de conducción es el holandés o vertical, que consiste en conducir a la planta en forma recta. en el que proporciona mayor aireación, favorece la fotosíntesis de las plantas y repercute en la producción final del cultivo (Figura 13).

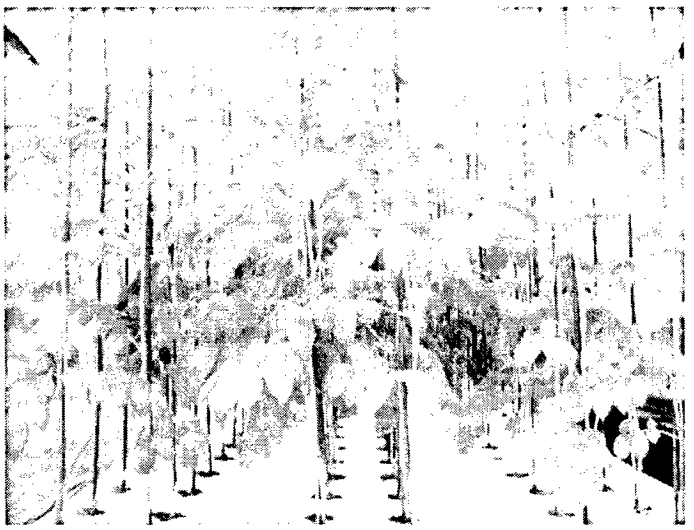

Figura 13. Conducción de las plantas en forma vertical en el cultivo de papa con sistemas aeropónicos.

Cascadas: Este un sistema de conducción que consiste en la capacidad de la bomba, que permite impulsar el agua a través de diferentes rociadores con tubos de irrigación, logrando que esta vuelva a caer en el depósito como se muestra en la (Figura 14).

Figura 14. Conducción de las plantas en forma de cascadas en un sistema aeropónico.

3.1. Espaciamiento o arreglos topológicos en aeroponia

Para la siembra de minitubérculos de papa aeropónico en invernadero, se emplea un diseño de cajones adecuados para este tipo de cultivo, que permite proporcionarle comodidad al operador al tiempo de cosechar (Figura 15). Estos cajones se distribuyen a lo largo o ancho del invernadero, es decir a 80 m^2 se logran acomodar 994 plántulas con un 63% de eficiencia en el espacio o 12.4 plantas /m^2. Por otra parte si empleamos la segunda distribución serian 1480 plántulas en 162 m^2 con una eficiencia de 50.9% o 9.1 plantas por cada m^2.

Por otra parte para crear el diseño se debe de tomar en cuenta la disponibilidad de materiales a emplear para que no resulte tan costoso. Sin embargo las dimensiones de dichos cajones suelen ser de 3.0 m x 1.5 m y 2.4 m x 1.2m de ancho, en este caso, para el tipo de cultivo es conveniente utilizar el cajón más grande. (Otazú, 2010).También se emplean cajas estrechas que han demostrado ser adecuadas porque a su vez contiene cuatro filas con perforaciones de 25 cm de distancia, que equivalen a 20 plantas/m^2 en cultivos de papa. Un tamaño adecuado para la cubierta superior debe ser de 1.20m x 1.20m.

Figura 15. Cajón aeropónico cubierto lateralmente con película de poliestireno, y protegido en la parte interior con plástico negro.

3.2. Cultivos aeropónicos más comunes

3.2.1. Hortalizas

Este método se ha venido utilizando para producir mini tubérculos de papa para semilla de mejor calidad sanitaria dentro de cajones oscuros en el cual se acelera el crecimiento y desarrollo del cultivo. Es una técnica que demanda del dominio de conocimientos especializados y de infraestructura, por lo que no está destinada agricultores de baja escala, sino a instituciones y/o empresas con capacidad técnica e infraestructura adecuada (Otazú, 2010).

El producir tubérculos de papa, mediante la técnica de aeroponia (Figura 16) conduce a recogerlos en el momento que presenta su óptimo crecimiento. Principalmente tiene como objetivo aumentar la productividad en 20 tubérculos por planta a diferencia de unos pocos que se obtienen con el método convencional en campo. El sistema de cultivo para la producción de papa en aeroponia se desarrolla principalmente bajo condiciones de invernadero, el cual consiste en mantener las raíces de las plantas suspendidas en el aire y en total oscuridad para lograr el buen desarrollo de ambos, mediante la atomización periódica de agua enriquecida con macro y micronutrientes (Alava,2010).

Figura 16. Producción de mini tubérculos de papa en un sistema aeropónico.

Al realizar la comparación de un sistema hidropónico fuera de los centros de investigación del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de la Papa) en Perú y un sistema aeropónico de tubérculos de papa élite en condiciones de campo, Arias (2009) encontró que el rendimiento fue hasta tres veces superior en el sistema de aeroponia. Por esa razón este autor considera que la aeroponia es válida para el autoabastecimiento en pequeñas fincas paperas y para los grandes productores dedicados al cultivo de la papa en ese país.

En el trabajo realizado por Hoyos *et al.*, (2012) encontraron que con la acumulación de grados centígrados por día en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) en un modelo de producción aeropónico, se produjo mayor peso promedio de frutos por planta, también señalan que el periodo de 30 días es de mayor rentabilidad debido al poco consumo de energía eléctrica. Así también el tratamiento aeropónico al 50% de grados día presentó una disminución significativa en todas las variables evaluadas, respecto al resto de los tratamientos. También se ha señalado que con la técnica aeropónica se logra cultivar de forma económica algunas brasicáceas como brócoli, coliflor, col de brúcelas, y col rizada; encontrándose que poseen una alta concentración del fitoquímico llamado sulfarofano, el cual se localiza en los brotes de estas hortalizas, y que resulta ser anticancerígeno para los humanos.

3.2.2. Plantas medicinales y aromáticas

En la actualidad existen diferentes formas de cultivar hierbas medicinales y/o aromáticas bajo condiciones de invernadero para conservar la frescura y fragancia culinaria que estas poseen. Para validar esto se llevó a cabo una investigación en la Universidad de Humboldt de Berlín, en el que diversos autores trabajaron con cuatro especies de la familia *Lamiaceae* que fueron: albahaca de Tailandia (*Ocimum basilicum*), albahaca santa (*Ocimum sanctum*), perilla (*Perilla frutescens*) y bálsamo vietnamés (*Elsholtzia ciliata*). Estas especies fueron cultivadas en hidroponia como sustrato y aeroponia, comparando la calidad de cada una de ellas. Sin embargo, con el uso del sistema aeropónico se mostraron los mejores resultados, debido a que garantiza una reacción rápida a los cambios de solución nutritiva, alta limpieza, y confortable manejo de las plantas (Böhme y Pinker, 2010). Por otro lado, al establecer un sistema de cultivo aeropónico basado en arcilla calcinada, sustrato que permite la alimentación

de los insectos herbívoros en raíz de *Arabidopsis thaliana*, se encontró que al infestarse con larvas de *Bradysia* spp., se afectó positivamente el crecimiento y rendimiento de esa planta (Vaughan *et al.*, 2011).

3.2.3. Leguminosas

En relación con especies fijadores de nitrógeno atmosférico como las leguminosas Laurent *et al.* (1999), al producir plantas de acacia (*Acacia mangium*) en aeroponia e inocularlas con hongos micorrícicos y comparadas con inóculos de plantas sembradas directamente en el suelo, encontraron que la aeroponia es un mejor sistema que la siembra en el suelo, obteniendo significativamente diferentes tasas de aumento en fósforo y clorofila en los tejidos vegetales de plántulas que usan para la reforestación en los trópicos.

3.2.4. Frutales

Estudiando el desarrollo de un sistema aeropónico para determinar la respuesta de las raíces de banano a la infección del hongo *Fusarium oxysporum* f. spp. *Cubense y R. similis*, Severn *et al.* (2003) señalan que este método resulta ser sencillo de manejar en el que se puede manipular el sitio de inoculación y la tasa de infección provocada por estos microorganismos fitopatógenos.

3.3. Importancia económica de la aeroponia

Esta novedosa forma de cultivo de numerosas especies de plantas resulta ser muy importante desde el punto de vista estratégico y económico, ya que permite reducir considerablemente la cantidad de agua y fertilizantes necesaria para la producción de las mismas. Estos factores resultan ser de suma importancia, ya que en grandes áreas semidesérticas del mundo, se están reduciendo las reservas de aguas superficiales y además se están abatiendo los acuíferos subterráneos que proveen aguas fósiles que tienen miles de años almacenadas en los acuíferos, y que difícilmente se volverán a recargar con agua de lluvia. Además, debido a que la aeroponía permite aportar de forma precisa la cantidad de elementos

nutritivos que necesita la planta en cada fase de su desarrollo, se logra conseguir una producción más sostenible desde el punto de vista medioambiental y económico.

En el momento actual, se ha producido un importante encarecimiento de las materias primas esenciales en la producción de fertilizantes, especialmente del gas natural, potasa, azufre, etc. Por ejemplo, las tarifas de gas que paga la industria española se ha incrementado desde el año 2005 casi el 50%. Por otra parte, la roca fosfórica, que se adquiere principalmente del norte de África, cuesta hoy 90% por encima de la cifra pagada por la misma roca en 2009. Los precios de la potasa en el mercado internacional están experimentando igualmente unas alzas muy importantes. Hay que tener en cuenta que tanto el gas natural como el fosfato roca suponen más del 60% de los costos de fabricación de los abonos nitrogenados y fosfatados respectivamente. Debido a lo antes señalado, un método de producción agrícola como la aeroponia adquiere mayor relevancia, toda vez que permite ahorros significativos en el consumo de fertilizantes sintéticos de alto valor económico.

3.4. Componentes de un sistema aeropónico

De acuerdo con lo señalado por (Pérez, 2012) los componentes de este sistema son los siguientes:

- **Tanque:** Es utilizado para el almacenamiento de las soluciones nutritivas y la concentración de esta dependerá del número de plantas a cultivar y del tamaño del contenedor.
- **Electrobomba:** La potencia de la bomba, dependerá de la cantidad del área de producción y funciona como impulsor de las soluciones de nutrimentos para las plantas, que empieza desde el tanque hasta la tubería de distribución y nebulizadores.
- **Tanque electro neumático:** Su principal función es aumentar la presión que ejerce con la finalidad de asperjar la solución nutritiva al interior del contenedor, donde las raíces se encuentran suspendidas en el aire, para proporcionarle todos los nutrientes adecuados que la planta necesite.
- **Tubería de distribución:** Sirve para hacer recircular la solución nutritiva para que logre salir en forma nebulizada hacia la raíz del cultivo.

- **Tubería de recolección o drenaje:** Funciona como recolección de la solución nutritiva que se distribuye por la base del contenedor y las lleva hacia el tanque donde se vuelve a almacenar.
- **Reloj programador (timer):** Este tiene como función controlar el encendido y apagado de la electrobomba en diferentes intervalos de tiempo según la programación del riego.
- **Filtro de anillo:** Este retiene posibles partículas que puedan obstruir los aspersores.
- **Aspersor:** Se encarga de asperjar la solución nutritiva en gotas muy finas, de tal forma que se encuentren suspendidas en el aire, y se logre formar una niebla.

3.5. Soluciones nutritivas en la aeroponia

Para que las plantas desarrollen su ciclo vital necesitan ciertas cantidades de elementos químicos que son denominados elementos nutritivos o macro elementos, así como también necesitan micro elementos en pequeñas cantidades, estos nutrientes son tomados por la planta en forma de iones que suelen ser positivos (cationes) o negativos (aniones), y con ellos se logra elaborar una solución nutritiva adecuada para el cultivo. También cabe mencionar los criterios que se toman en cuenta en la aplicación de los elementos minerales como los siguientes:

- Que en ausencia del elemento mineral, la planta sea incapaz de completar su ciclo de vida.
- Que la función del elemento no sea remplazada por otro elemento mineral.

De acuerdo con los grandes beneficios que los elementos minerales proporcionan a las plantas se logran clasificar en elementos indispensables, útiles y prescindibles como se señala en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Elementos minerales clasificados de acuerdo a los requerimientos de la planta (Favela *et al.*, 2006).

Clasificación de los elementos	Requerimientos de las plantas
Indispensables	Son aquellos elementos que reúnen criterios esenciales y que son de importancia vital para la nutrición de las plantas.
Útiles	Son elementos que benefician de forma directa e indirecta a la nutrición de las plantas, sin que sean considerados indispensables en la nutrición mineral como el Si y el Co.
Prescindibles	Son elementos que la planta logra absorber, pero que no realizan funciones fisiológicas específicas en el crecimiento de las plantas.

Se considera una solución nutritiva (SN) aquella que está formada por agua, y todos los macro y micronutrientes esenciales para las plantas que se encuentran disueltos en forma orgánica e inorgánica, con una porción adecuada y balanceada para los cultivos sin suelo, de lo contrario los rendimientos suelen reducirse significativamente. Cabe mencionar que las soluciones nutritivas se formulan de acuerdo al estado de crecimiento, y al estado de desarrollo de las plantas, como el vegetativo, floración, fructificación y sobre todo al tipo de cultivo (Soria y Aguilar, 2002).

Los aspectos de la SN que mayormente influyen en la producción son la mutua relación que existe entre los cationes, relación mutua entre los aniones, la concentración de los nutrimentos que es expresada mediante la conductividad eléctrica, el pH, y la temperatura para lograr el desarrollo adecuado de las plantas. En el Cuadro 2 se enlistan los nutrimentos esenciales y la forma en que la planta logra absorberlos para lograr su óptimo crecimiento y desarrollo. Regularmente existen diferentes formulaciones que muestran distintas concentraciones de los elementos esenciales llamados macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre).

Cuadro 2. Nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas (Bennett, 1997).

Elemento	Símbolo	Forma de absorción	Elemento	Símbolo	Forma de absorción
Carbono	C	CO_2	Zinc	Zn	Zn^{2+}, Zn(OH)2
Hidrogeno	H	H_2O	Manganeso	Mn	Mn^{2+}
Oxigeno	O	H_2O,O_2	Cobre	Cu	Cu^{2+}
Nitrógeno	N	NH_4^+,NO_{3-}	Boro	B	$B(OH)3^0$
Fosforo	P	H_2PO_4,HPO_4^{2-}	Molibdeno	Mo	MoO_4^{2+}
Potasio	K	K+	Cloro	Cl	Cl-
Calcio	Ca	Ca^{2+}	Silicio	Si	$Si(OH)4^0$
Magnesio	Mg	Mg^{2+}	Sodio	Na	Na^+
Azufre	S	SO_4^{2-}	Cobalto	Co	Co^{2+}
Hierro	Fe	Fe^{2+},Fe^{3+}	Vanadio	V	V^+

Para evaluar el efecto de uno o más nutrientes de las SN en el crecimiento, desarrollo, rendimiento, calidad del producto y absorción de los nutrientes por los cultivos se han realizado numerosas investigaciones sin que exista una técnica con aceptación general. El uso de SN que contienen N-NH^{+4} y N-NO^{-3} son un buen ejemplo de soluciones con cambios simultáneos en los nutrientes del tipo anión y catión. Por otra parte, con base en algunos estudios sistemáticos acerca de las características químicas de las SN, y cómo éstas afectan a su vez dichas características de los cultivos.

En los resultados reportados por (Tirado *et al.,* 2006) se analizaron diversos estudios relacionado con el uso del N-NH^{+4} y/o del N-NO^{-3} en SN. Ellos encontraron que dichos estudios no permiten hacer inferencias sobre los efectos directos del N-NH^{+4}, o del N-NO^{-3} en el agua, así como de su interacción en el riego. Por lo tanto proponen el empleo de SN que correspondan, por su estructura, al diseño experimental factorial completo; con combinaciones de SN (tratamientos) de un grupo de relaciones de concentración NH^{+4} cationes, con otro grupo de relaciones similares NO^{-3}: aniones; ya que dichos tratamientos permiten evaluar los efectos directos del N-NH^{+4}- y el N-NO^{-3} y de su interacción, sin interferencias de otra índole (por

ejemplo: presión osmótica y pH de la SN). Algunos autores, como Steiner y Hoagland han elaborado SN que ha resultado de forma exitosa en la nutrición de las plantas, pero algunas difieren de otras en cuanto a la concentración y combinación de sales (Cuadro 3), y las que son utilizadas usualmente son las de Hoagland y Arnon, y Steiner.

Cuadro 3. Nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas (Bennett, 1997).

Ion o radical	*I	II	III	IV	V	VI
NO_3^-	210	168	196	168	70	46
$H_2PO_4^-$	84	31	31	40	40	0.12
$SO_4^=$	64	112	64	48	112	8.6
K^+	331	273	234	156	156	10
Ca^{++}	168	180	160	160	160	133
Mg^{++}	48	48	48	36	36	22
Na^+	-	-	-	30	30	23
$NH4^+$	-	-	14	-	70	1.7

*I Cooper (1975). II solución nutritiva universal Steiner (1980). III Hoagland y Arnon (1938). IV Long y Hewitt (1966).V Hewitt (1966). VI solución desplazada de suelo fértil Benians *et al.* (1977).

La SN de Hoagland y Arnon (Cuadro 4), proviene de laboratorios caseros que se dedicaron a la nutrición de las plantas a nivel mundial y que por los pequeños cambios, en la composición de los micronutrientes, ahora son llamados Solución de Hoagland (Hernán, 2001). Actualmente plantas de muchas especies han sido desarrolladas exitosamente con el uso de esta solución modificada de Hoagland. Por otra parte la SN debe ser analizada todos los días, porque la conductividad eléctrica no debe pasar de los 2.0 ms/cm y el pH de los 7.3, ya que estos son útiles indicadores en la nutrición de las plantas, por lo tanto debe ser cambiada y suministrada semanal o mensualmente.

Cuadro 4. Soluciones Nutritivas que fueron modificadas por Hoagland (tomado de: Hernán. 2001).

Macronutrientes					
Compuesto	Peso molecular (gr L^{-1}) Volumen ($cm^3 L^{-1}$) **Elemento**				Conc. final (ppm)
KNO_3	101.1	101.1	6	N	224
$Ca(NO3)_2.4H_2O$	236.16	236.16	4	K	235
$NH_4H_2PO_4$	115.08	115.08	2	Ca	160
$MgSO_4.7H_2O$	246.49	246.49	1	P	62
				S	32
Micronutrientes				Mg	24
Compuesto	Peso molecular (gr L^{-1}) Volumen ($cm^3 L^{-1}$) **Elemento**				Conc. final (ppm)
KCl	74.55	3.728		Cl	1.77
$H3BO_3$	61.84	1.546		B	0.27
$MnSO_4.H_2O$	169.01	0.338	1	Mn	0.11
$ZnSO_4.7H_2O$	287.55	0.575		Zn	0.131
$CuSO_4.5H_2O$	249.71	0.125		Cu	0.032
$H2MoO_4$ (85% MoO_3)	161.97	0.081		Mo	0.05
Fe-Quelato	346.08	6.922	1	Fe	1.12

La SN de Steiner fue empleada por primera vez en 1961, y consiste en la relación mutua que existe entre los iones y el balance de los macronutrientes de NO_3-, $H_2PO_4^-$ y SO_{42}^-, de la SN para ciertos aniones (Cuadro5), así como también es basada en la cantidad absoluta del balance y en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes y aniones de esta solución, que corresponden a seis formulaciones de soluciones nutritivas que se han empleado en hidroponia para la producción de tomate (Lara, 1999). Por otra parte, Steiner (1968), señala

que el problema más importante que suele presentarse en esta, es la mala relación que exista entre los iones de la misma carga eléctrica que afectan y disminuyen el rendimiento.

Cuadro 5. Relación mutua entre aniones y cationes en base al porcentaje total de molc de diferentes soluciones nutritivas respecto a otros autores (Tomado de: Lara, 1999).

Solución	**NO_3^-**	**$H_2PO_4^-$**	**SO_4^{2-}**	**K^+**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**	**NH_4^+**
Relación porcentual (mol m^{-3})							
	Aniones			**Cationes**			
Hoagland y Arnon (1950)	74	5	21	32	42	21	5
Steiner (1961)	60	5	35	35	45	20	0
Resh (1981)	44	8	48	40	40	12	8
Graves (1983)	50	6	44	40	44	16	0
Knop (1865)	79	10	11	23	66	11	0
Robbins (1946)	74	5	21	26	53	21	0

Al analizar la aplicación de dos SN (Hoagland y Arnon), contra la aplicación de la SN de Sonneveld en el cultivo de lechuga en hidroponia bajo condiciones de invernadero con acondicionamiento solar, (Robredo *et al.*,1997) compararon químicamente la relación nitrato-amonio, y nitrógeno, fosforo y potasio por el método de Steiner. Estos autores no observaron diferencias entre las SN en el rendimiento del cultivo, sin embargo, la formulación de Sonneveld, mostró un comportamiento estable en su pH.

Por su parte, (Velasco *et al.*, 1998) encontraron que al aplicar la SN, se produjo mejor crecimiento y producción en las plantas sanas y enfermas de chile, comparadas a otras soluciones con elementos faltantes. Por otro lado, las plantas enfermas mostraron mayor concentración de N y P, pero menor promedio de concentración de K, Ca y Mg. Sin embargo, en las plantas enfermas de virus, hubo alteración en el contenido y distribución nutrimental en comparación con las plantas sanas.

Con la aplicación de SN se obtiene mayor cantidad de biomasa, altura y diámetro, además se acelera el crecimiento radical de las plántulas de biznaga (*Echinocactus grusoni* H.) que crecen en sustrato de tezontle (Islas, 2008). Con el uso de la aeroponia se logra medir la absorción de agua, iones y nutrientes en el cultivo de arándanos.(Barak *et al.*, 1996); estos autores también mencionan que esta técnica es utilizada para optimización de la producción de cultivos en ambientes cerrados, y en el control de la sanidad de las plantas.

3.6. El fertirriego

Es de mucha importancia en la agricultura protegida y en el sistema hidropónico y aeropónico, debido a que permite manejar los micro y macronutrientes que la planta necesita, además es de suma importancia la calidad del agua para riego, ya que es un elemento básico para que las plantas logren desarrollarse correctamente y esto se debe al control cualitativo del agua, incluyendo iones, aniones y cationes, el pH, la conductividad eléctrica, concentración de nitratos, boro, carbonatos y la salinidad. Para lograr ese control son necesarios los análisis de agua, que conlleva al uso adecuado de fertilizantes (Tecno Ciencia, 2003).

3.7. Sistemas o equipo de fertirriego

- **Fuente de agua:** permite abastecer la cantidad de agua de un rio, pozo profundo, canal o tanque.
- **Sistema de presión o bombeo:** Consta de una motobomba eléctrica, diesel o gasolina, y un tanque.
- **Sistema de filtrado:** contiene anillos que permiten obtener agua de mejor calidad y funcionan para evitar los taponamientos provocados por algunos elementos, pueden ser filtros de arena o grava, y discos.
- **Tuberías principales:** permiten conducir el agua desde la bomba de riego y filtro hasta la entrada del cultivo.
- **Válvulas de riego:** abren o cierran el paso del agua desde las principales tuberías hasta el cultivo.
- **Tuberías secundarias:** estas permiten conducir el agua dentro del cultivo por las diferentes zonas o sectores.

- **Laterales de riego:** son líneas de cintas de riego por goteo, que contienen aspersores, micro aspersores, goteros auto compensados por plantas, son los que aplican el agua al suelo de cada planta.
- **Sistemas de inyección de fertilizantes:** es el más importante de todos, por que consta de aparato, dispositivo o mecanismo o forma de aplicar fertilizantes solubles al agua de riego según las necesidades del cultivo.

3.8. Componentes del sistema de riego

Fuente de presión: Está conformado por una bomba y un tanque que suelen estar ubicados a 10 metros sobre el nivel del terreno a regar como una red de agua presurizada.

Línea de presión: Esta es de mucha importancia porque está constituida de una serie de tuberías de PVC, donde el diámetro de estos dependerá del tamaño de la parcela donde se utilizara este tipo de riego que permite conducir al agua desde los pozos que existen, hasta los cabezales con el aporte de la bomba, presurizando el recorrido del agua para generar presión.

Cabezal de riego: Está constituido por diversos accesorios de control y filtrado, los cabezales constan principalmente de válvula compuerta, válvula de aire, filtro de anillos o mallas, y arco de riego con válvula de bola.

Porta regantes: Constituido de tubería de PVC que conduce al agua a través de los laterales, en el que se instalan las cintillas de riego por goteo.

Emisores: Cuenta con una serie de cintillas de goteo que permite la emisión de caudales mediante emisores o goteros que van ubicados cada 20 cm o más; estas cintas trabajan con presiones de 10 m de columnas de agua (1 bar) y, cada gotero emite de 1-2 litros de agua por hora

IV. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO EN AEROPONIA

El sistema aeroponico es una de las técnicas que actualmente se ha vuelto muy popular en la agricultura protegida, y se implementa con mucha facilidad de acuerdo a los grandes y múltiples beneficios que este aporta, uno de los beneficios es que logra el crecimiento más alto que cualquier otro sistema en el mercado, debido a que el aire es el mejor medio que resulta de mayor uso, que ofrece una solución nutritiva adecuada y balanceada que es oxigenada a las raíces de las plantas, y que les permite crecer mucho más rápido, fuertes, resistentes y de mejor calidad (Sivakumar *et al.*, 2010).

Como resultado de lo antes señalado la aeroponia es implementada para jardinería, hortalizas, cultivos forrajeros, gramíneas, frutales, plantas medicinales y aromáticas, resultando factible y rentable para la mayoría de los productores en el campo mexicano, debido al crecimiento rápido que esta técnica proporciona, las plantas logran alcanzar su tamaño óptimo, florecer y fructificar antes de tiempo a diferencia de otros métodos de cultivo; por lo tanto, con este método se logran obtener mejores clones y rendimientos en el mismo sistema en lugar el típico trasplante (http://es.prmob.net).

La aeroponia resulta ideal para los estudios avanzados sobre el estrés hídrico de las plantas, porque permite suministrar la cantidad de agua y los niveles de humedad en la raíz. Se considera una buena herramienta para estudiar más a fondo la morfología de la raíz, inhibiendo todo tipo de daño que se pueda causar, y por lo tanto resulta el mejor sistema que produce las raíces más adecuadas y normales que cualquier otro (Weathers *et al.*, 2004).

Farrand *et al.* (2006) estudiaron el comportamiento del cultivo de papa para producción de minitubérculos para semilla, los cuales que fueron cultivados en un sistema aeropónico a diferentes densidades de siembra: 60 y 100 plantas/m^2, con intervalos de cosecha de 7, 10, y 14 días. Estos investigadores obtuvieron los mejores rendimientos a una densidad de siembra de 60 plantas/m^2, cosechando cada 7 días, con una productividad de 800 mini tubérculos por m^2, mostrando un rendimiento total de 118.6g/planta, lo cual que fue cuatro veces mayor al de 100 plantas/m^2 producidos convencionalmente.

Por su parte (Wheaters *et al.*, 1992).encontraron que la principal diferencia de la aeroponia y la hidroponia, es la aplicación de la SN en forma de niebla, pudiéndose utilizar esta técnica para la producción de vitroplantas, cultivos celulares y microbianos. Similarmente Ritter *et al.* (2001) compararon la producción de mini tubérculos de papa en el sistema de cultivo aeroponico y el hidropónico bajo condiciones de invernadero. Sin embargo, hubo mayor crecimiento vegetativo y mayor rendimiento de tubérculos por planta en el sistema aeroponico con un 70% de producción mayor que el hidropónico.

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) desde la década de 1960, ha estado trabajando con plantas en el espacio a un nivel superior mediante la colaboración de la aeroponia con cultivos agrícolas horizontales y verticales (James, 2012), debido a que con esta técnica se ahorra el consumo de agua en 98%, 60% en fertilizantes y100% en el uso de pesticidas, de esta manera se puede maximizar la producción y rendimiento de los cultivos en el entorno espacial.

Peterson y Krueger (1988), diseñaron y probaron un sistema aeroponico para el crecimiento de las plantas del cultivo de pepino con la aplicación de SN de Hoagland y siete nebulizaciones por día, con intervalos de tiempo de 10 minutos cada una. Los estudios realizados en la aeroponia y SN permitieron un adecuado crecimiento y desarrollo de la planta, así como proporcionó beneficios como fácil acceso al sistema de la raíz y el control elemental de las nebulizaciones en las diferentes etapas del cultivo, este sistema ha funcionado sin ningún inconveniente en 32 semanas del cultivo.

Se ha trabajado en aeroponia al cultivo de tomate variedad Arletta, para la determinación de calidad y cantidad de azúcar y ácidos orgánicos en frutos de tomate a diferentes densidades de plantación y poda, (Osvald *et al.*, 2001). Sin embargo la calidad de los frutos depende de las condiciones de producción, variedad, fertilización, densidad de plantación, y en cuanto a la cantidad de sacarosa y ácidos no se encontraron diferencias estadísticamente.

Con el sistema aeroponico se obtuvieron los mejores resultado en altura de la planta, peso promedio de frutos por racimos, y rendimiento, así como también aumento el contenido de clorofila, y la tasa neta de fotosíntesis, e hidratos de carbono, (Zhou *et al.*, 2006) al evaluar el crecimiento, rendimiento, y calidad de la planta de tomate con la aplicación de soluciones nutritivas y comparado con el cultivo a campo abierto. Por otro lado, con la aplicación de diferentes concentraciones de CO_2 en el crecimiento radicular del cultivo de papa en un cultivo aeropónico se logró obtener mayor área foliar, conductancia estomática de las hojas, concentración intercelular de CO_2, tasa neta de fotosíntesis, eficiencia fotoquímica, número de tubérculos, y altura de la planta, pero se detectó una disminución en el punto de compensación de luz (Zhouping *et al.*, 2004).

Estudios recientes realizados por (Haiye *et al.*, 2012) en plántulas de papa establecidas en el sistema aeropónico recibiendo la aplicación de calcio con el fin de mejorar la resistencia al frío, que esta técnica funciona con calcio exógeno a bajas concentraciones, las cuales son aplicadas directamente en las hojas del cultivo en condiciones de bajas temperaturas, mejorando la resistencia al frío.

V. ALCANCES

Las diferentes producciones de cultivos en aeroponia y en condiciones de plasticultura, es una innovación que se basa en el principio hidropónico con grandes modificaciones, ya que muestra diversos avances para la mayoría de los agricultores, permite el uso y manejo adecuado del agua con un ahorro de 40% o más; así como de fertilizantes, y espacio físico. También se logra mejor control en algunos aspectos del cultivo como altas densidades de población y la producción de cultivos intensivos, debido a que es posible obtener hasta13 producciones al año en el cultivo de lechuga, ya que se cosecha cada 28 días y se obtienen frutos limpios, que resultan rentables para el productor y muy deseables por el consumidor (Christie and Nichols, 2004).Con el uso de la agricultura protegida, plasticultura, y la aspersión de soluciones nutritivas en aeroponia se logran obtener las mejores producciones y grandes rendimientos en hortalizas que se adaptan a esta nueva técnica (Oriol, 1993).

Por otro lado, cabe mencionar la importancia de la escasez del agua a nivel mundial, ya que el uso y consumo de este elemento vital es dos veces mayor al de la tasa de crecimiento de la población; esto provoca, la escasez del agua en regiones, áridas y semiáridas (ONU, 2012), sin embargo, este déficit afecta a todos los continentes, y por ende a las plantas. La mayoría de los recursos de agua dulce del planeta se concentran en los países de: Brasil, Rusia, Canadá, Estados Unidos de América, China e India (Toledo, 2000).

Alrededor del 40% de los ríos en el mundo se encuentran en cinco grandes cuencas hidrológicas Amazonas, Ganges Bramaputra, Congo, Yangtzé y Orinoco. La situación del agua es muy preocupante para los seres humanos, ya que la producción agrícola podría disminuir por la falta y carencia de este recurso. Por lo tanto, la aeroponia representa una técnica viable y rentable en el siglo XXI para reducir el consumo de agua de riego y para incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes sintéticos o tradicionales cada vez más caros, siendo el agua una limitante para la agricultura debido al calentamiento global y la escaza precipitación pluvial, por ello es necesario aplicar otras opciones tecnológicas para lograr aumentar las producciones de los cultivos (Macías y Lara, 2001).

Una de ellas es la hidroponia con la técnica del flujo laminar de nutrimentos llamado NFT, en el que se controlan ciertos factores que influyen en rendimiento del fruto, como son: el flujo de la solución nutritiva, concentración de oxígeno de la SN, pH, y la densidad de plantación. Debido a eso hoy en día, se ha optado por seguir nuevas técnicas y aparte de la hidroponia también está la aeroponia que reduce el consumo de agua hasta un 98%, el 60% en uso de fertilizantes y el 100% del uso de pesticidas, además de eso se reduce el espacio y se logran los mejores rendimientos en producción..

Actualmente la NASA busca intensificar a la aeroponia para la producción de verduras frescas en lugares cerrados (James, 2012), y así obtener alimentación sana, fresca y nutritiva para lograr alimentar a personas que se encuentren en misiones espaciales por un tiempo determinado.

VI. ÁREAS DE OPORTUNIDAD

En las últimas décadas la agricultura moderna busca ser sustentable, implementando diversas técnicas de cultivos que permitan mejorar la cantidad y calidad de nuestros alimentos de manera amigable con el ambiente (Lira-Saldivar y Medina-Torres, 2007). Desde hace muchos años ha existido una gran controversia entre la agricultura convencional y la agricultura ecológica, los productores que utilizan a la agricultura convencional hacen mayor uso de plaguicidas, herbicidas, y fungicidas con el propósito de aumentar la producción. sin embargo la agricultura ecológica conlleva a los productores a utilizar el material orgánico para aumentar el contenido de nutrientes y la producción de forma natural, sin ocasionar daños al medio ambiente.

Actualmente la agricultura convencional se ha estancado por nuevas técnicas que muestran más eficiencia en algunos cultivos, iniciando con la plasticultura aplicada en agricultura orgánica protegida (Lira-Saldivar *et al.*, 2011), sistemas de producción como lo son la hidroponia, acuaponia y la tecnología de la aeroponia que es comúnmente utilizada en los países de Holanda e Israel con la producción del cultivo de flores; España con el desarrollo de tubérculos de papa; Estados Unidos con el cultivo de menta y otras variedades, y en Colombia con brócoli, coliflor y tomate entre otros, que son desarrollados recientemente a un bajo costo. También es implementada a nivel industrial, domestico, jardinería, y forrajera que son implementadas en láminas de poliestireno con agua y nutrientes, aspersor, contenedores plásticos, y la planta.

Muchos utilizan a la aeroponia para eliminar la necesidad de suelos profundos para hacer crecer a las plantas. Por otra parte la niebla hidro-automatizada de alta presión de asperja frecuentemente cada 5 minutos y 20 segundos, las gotas de 5-50 micras son de gran importancia para un crecimiento aeroponico a largo plazo, el tamaño de las gotas es importante ya que si sobrepasa el tamaño y presión de las gotas puede ocasionar la degradación de la espuma que sostiene al cultivo a causa de la mineralización de los rociadores, provocando un desequilibrio en el medio aéreo.

Existe un sistema llamado aerofarm, es el sistema hidro-aeroponico más pequeño y económico que se ha desarrollado en medio de una tela patentada, que funciona como un transportador de plantas desde un extremo del sistema aeropónico, y brinda una serie de beneficios como durabilidad, saneamiento, cosecha eficiente, aumento en limpieza y puede reutilizarse las veces que uno lo requiera. Este nuevo sistema es pionero en la emisión de luz para los sistemas de cultivo con crecimiento vertical.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de la papa (INIAP) y el Centro Internacional de la Papa (CIP) de Perú organizan algunos cursos sobre aeroponía, cuyo propósito es orientar y capacitar a técnicos de instituciones públicas, empresas privadas y de universidades en el manejo de esta tecnología. Con esto se busca aumentar la disponibilidad de semilla de papa de categorías iniciales de alta calidad sanitaria en el país (Pumisacho y Kromann, 1997).

VII. CONCLUSIONES

Los sistemas de plásticultura con técnicas aeropónicas en la agricultura protegida, hoy en día son de gran importancia para aquellos pequeños o grandes productores de varios países, porque con ella se obtiene un uso y manejo adecuado de los recursos naturales y ambientales, así como de los fertilizantes. Esto conlleva a producir en un ambiente pequeño con grandes producciones si se emplea el manejo correspondiente y adecuado que resulta de manera económica para el agricultor. Para lograr llevar a cabo este sistema, el productor requiere obtener las plántulas de forma in vitro para garantizar la producción, rendimiento y la máxima calidad del cultivo, como también el empleo necesario de las soluciones nutritivas, que serán suministradas por la persona adecuada que monitorea frecuentemente el invernadero.

El avance de esta técnica se debe al mal uso que hacen del suelo, así también a los diferentes tipos de problemas que implican cultivar directamente en el, uno de ellos es el control de plagas y enfermedades directamente en la raíz, estas provocan que la planta no logre absorber el agua y los nutrientes que necesita. Por otra parte el agua, también es a causa de la sobrepoblación, el sistema conlleva a lograr alimentar a cientos de familias, ya que con ella se adquieren grandes cantidades de hortalizas en ton/ha bajo condiciones de invernadero.

El uso de esta técnica ha tenido éxito en variedades de plantas tales como: hortalizas (chile, tomate, papa, pepino, lechuga, etc.), En plantas ornamentales (clavel, geranio, filodendro, dracaena, etc.) y en estacas de árboles frutales (oliva, uva, cítricos, pera, manzana, melocotonero, etc.) en los que ha mostrado los más altos rendimientos en producción agrícola. Además permite ahorro del espacio y dimensiones que se logran utilizar, así como el control fitosanitario de la planta.

VIII. LITERATURA CITADA

Altieri, M. A. 1991. Por qué estudiar la agricultura tradicional. Agroecología y desarrollo. Revista de CLADES. 14p.

Alvarado, C. D., Chávez, C. D., y Wilhelmina, A. K. 2001. Lechugas hidropónicas. Seminario de agro negocios. Universidad del Pacífico. 12-17pp.

Alava, A. 2010. Realizan primera siembra de papa a gran escala mediante aeroponía en España. 2000 Agro. Revista industrial del campo.1p.

Arias, D. C., 2009. Producción de tubérculos élite de papa mediante el sistema aeropónico en el ecuador. Tesis de Licenciatura .Universidad Central del Ecuador. 125p.

Barak, P., Smith, J. D., Krueger, A. R., y Peterson, L. A., 1996. Medición de tasas de captación de nutrientes de arándanos, planta, célula, medio ambiente, por aeroponia a corto plazo. 19:237-242pp.

Benítez, J., Paredes, M., Horna, D., Gavilanes, I. 2005. Producción de semilla pre-básica de papa, en sustrato con fertirrigación. Estación Exp. Sta. Catalina - INIAP. Quito, Ecuador. 7p.

Böhme, M. H., y Pinker, I. 2010. Experimentos para cultivar hierbas aromáticas. Congreso Internacional de Horticultura de Lisboa. Universidad Humboldt, de Berlín. 3p.

Castellanos, J. Z. 2004. Manejo de la fertirrigación en el suelo. En: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. J. Z. Castellanos, 2da ed. INTAGRI. México. 103-123pp.

Cuellar, B. A. 2012. Aeroponia vertical rotacional. Agro 2.0. 1p.

Christie, C. B. and Nichols, M.A. 2004. AEROPONICS - A production system and research tool. Acta Hort. (ISHS) 648: 185-190.

Farrand, I., y Mingo, A.M. 2006. Producción de minitubérculos de papa usando aeroponía: Efecto de la densidad de siembra y cosecha Intervalos Amer J de la Papa Res. 83:47-53 47.

Gómez, T. L., Gómez, C. y Schwentesius, R. R. 2004. Productos Orgánicos, Propuesta de Política de Apoyo para la Agricultura Orgánica en México. Universidad Autónoma de Chapingo. 4p

Haiye, Y., Qiao, J., Lingui X., Zhang, Y., y Wang, S. 2012. Efecto del análisis de calcio sobre la resistencia al frío de las plántulas de papa en aeroponia. Facultad de Ingeniería Agrícola y Biológica. Universidad de Jilin. Changchun, China. 1p.

Hernán, L. P. 2001. La solución nutritiva, nutrientes comerciales, formulas completas. Bogotá D.C. Colombia S.A. 13:87-81p.

Herrera, V. T. 2011.Sistemas de riego. Apuntes. Centro de investigación en Química aplicada.

Hoyos, D., Morales, J. G., Chavarría, H., Montoya, A. P., Correa, M., Jaramillo, S. 2012. Acumulación de Grados día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus L.*) en un Modelo de Producción Aeropónico. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín 65:1. 10p.

INEGI/SEMARNAP. 2000. Estadísticas de Medio Ambiente, México 1999. México, 848 p. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2011. Producción de minitubérculos de papa. Perú. 1p.

INFOAGRO. 2013. Cultivos aeroponicos. 2p.

Islas L. V H. 2008. Crecimiento de plántulas de biznaga (*Echinocactus grusoni Hildman*) con diferentes sustratos y soluciones nutritivas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. 52p.

James, J. 2012. La aeroponia es todavía un negocio en crecimiento. Cultura alimentos frescos. 1p.

Laurent, F. M., Sing, K. L., Foong, Y. T., He, J., Hoang, G. D. 1999. Producción de plantas de acacia (*Acacia mangium*) en aeroponia inoculadas con hongos micorrizas para la reforestación en los trópicos. Revista de Ecología y Gestión Forestal. 122:3. 1p.

Lara, J. A. y Hernández, A. 2003. Reutilización de aguas residuales: aprovechamiento de los nutrientes en riego agrícola. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales. Instituto Cinara, Universidad del Valle. 237-242p.

Lara, H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponia. Revista Terra. Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.17:3.1-9p.

Lira-Saldivar, R. H., Torres, J. G. 2007. Agricultura Sustentable y Biofertilizantes. Editores: Serna Editores. México. 1-220p.

Lira-Saldivar, R. H., Hernández, A., Valdez, L. A., Ibarra, L., Cárdenas, A. 2011. Uso de Biofertilizantes para la producción orgánica de tomate cherry en condiciones de casa sombra. Agricultura Sostenible, 7: 106-117p.

Maocho, F. 2013. Huerto familiar, aeroponia, horticultura sin tierra, vivir sin aire.1pp.

Macías, D., Lara, H. A. 2001. Flujo de solución nutritiva y plantas por canal en el cultivo hidropónico de tomate. Universidad autónoma de Zacatecas. 13p.

Meléndez, L. 2013. Acuaponia; alternativa biológica de diversificación y fertirrigación. 4p.

Medina, R. J., Himeur, Y., Romero, Z. J. L., Zúñiga, V. C., Alvarado, L. P. 2005. Manual operación y mantenimiento de un sistema de riego por goteo. 10p.

Medrano, G., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Gulías, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones Geográficas. 8: 63-84.

Muñoz, R. J. 2003. La producción bajo invernadero en México. En: Manual de producción hortícola en invernadero. J. Z Castellanos, J.J. Muñoz R. INTAGRI. México. 14-16p.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2012. Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos de las naciones unidas. Informe de las Naciones Unidas para el Desarrollo Mundial del Agua. 4:1.1p.

Osvald, N., Petrovic, J., Demsar, A. 2001. Contenido de azúcar y de ácidos orgánicos en frutos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en un sistema aeropónico a diferentes densidades. Acta agroalimentaria. 30:53-61p.

Ordoñez, N. 2010. Agricultura Protegida en México. Revista Tecno Agro (Avances Tecnológicos y Agrícolas). 54:1-3 p.

Oriol, M. 1993. Fertirrigación, sustratos y cultivos sin suelo. Departamento de Tecnología Hortícola. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA). Catalunya, España. 10p.

Otazú, V. 2010. Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponia. Centro internacional de la papa. 41p.

Peterson, L. A., Krueger, A. R. 1988. Un sistema aeroponico intermitente. Colegio de Agricultura y Ciencias Biológicas. Universidad de Wisconsin, Madison. 28:4. 712-713p.

Pérez, R. 2012. Aeroponia. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Comisión de Estudios de Postgrado. Caracas, Venezuela. 2-37p.

Pumisacho, M., Kromann, P. 1997. Capacitación en aeroponía para producción de minitubérculos de semilla de papa, basada en el enfoque "gestión de

conocimientos". Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Santa Catalina, Ecuador. 2p.

Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herrán, C., Relloso, J., San José, M. 2001. Comparación de sistemas de cultivo hidropónico y aeropónico para la producción de minitubérculos de papa. 44:(2)127-135.

Robredo, P., Quiroga, M., Echazú, R. 1997. Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero. INENCO. Universidad Nacional de Salta. Buenos aires argentina. 10p.

Severn, A. A., Ellis, M. D., Jager, K., Waele, D. 2003. Desarrollo de un sistema aeropónico para el estudio de la respuesta de las raíces de banano a la infección con *Fusarium oxysporum f.* spp. *Cubense* y *R. similis*. Revista Info Musa.2:12:1. 3p.

Sivakumar, G., Liu, C., Towler, M. J. Weathers, P. J. 2010. Biomass production of hairy roots of *Artemisia annua* and *Arachis hypogaea* in a scaled-up mist bioreactor, Biotechnology and Bioengineering. 107:802-813.

Soria, B. C., Aguilar, O. J. M. 2002. Cultivos sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat valenciana. Serié divulgación técnica. 110p.

Scott, C. N., Faruqui, I., Raschid, L. 2004. Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities. IWMI, IDRC, CABI, Sri Lanka. 240p.

Toledo, A. 2000. El agua en México y en el mundo. Gaceta ecológica. 10p.

Tirado, J. L., Colinas, M. T., Aceves, L. A., Sahagún, J., Sánchez, P., Baca, G. A. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América. 31: 246-253.

Vázquez, R. J. A. 2012. Diseño de un sistema de riego aeroponico automatizado. Tesis programa de maestría y doctorado en ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México Distrito Federal. 72p.

Velasco, V. V. A., Trinidad, S.A., Tirado, T.J.L., Telliz, O.D., Martínez, G.A., y Cadena, H.M. 1998. Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile de agua infectadas con virus. Revista Terra. 16:4.8p.

Vaughan, M. M., Dorothea, T., James, G. T. 2011. Un sistema de cultivo aeropónico para el estudio de los insectos herbívoros en raíz de *Arabidopsis thaliana*. Métodos de Plantas. 7:5.10p.

Weathers, P. J., González, J., Kim, Y.J., Souret, F.F., Towler, M. J. 2004. Alteration of biomass and artemisinin production in Artemisia annua hairy roots by media sterilization method and sugars. Plant Cell Reports. 23:414-418.

Wheaters, P. L., Zobel, R. W. 1992. Aeroponia para el cultivo de microorganismos, tejidos y células. Departamento de Biología y Biotecnología. Instituto Politécnico de Worcester. Worcester E.U.A. 93–115p.

Zacchini, M., Pietrini, F., Scarascia, G., Iori, V., Pietrosanti, L., Massacci, A. 2009. Metal Tolerance, Accumulation and Translocation in Poplar and Willow Clones Treated with Cadmium in Hydroponics. Water Air Soil Pollut. 197: 23–34.

Zhou-Ping, S., Tao, L., Shan, S., Tián, L. 2006. Effect of aeroponics on the growth, yield and quality of tomato plants. Journal of Shenyang Agricultural University. 6:223.228

Zhouping, S., Tianlai, L., Yao, L., Hongli, Z. 2004. Efecto del CO_2 en la fotosíntesis y en el crecimiento radicular de la papa por cultura aeropónica. Laboratorio de Horticultura Protegida de Liaoning. Universidad Agrícola de Shenyang. China. 1p.

PAGINAS CONSULTADAS EN INTERNET

Consultado el día 05 de junio del 2013

http://2006-2012.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx

Consultado el día 08 de junio de 2013

Eco-tecnologías. http://caricanoster.blogspot.fr/2012/10/eco-tecnologias.html

Consultado el día 19 de junio de 2013

Aeroponics Is the Future of Indoor Gardening. http://urbanorganicnews.com/what-is-aeroponics/

Consultado el 20 de junio del 2013

http://www.infoagro.com/hortalizas/cultivo_aeroponico.htm

Consultado el 20 de junio del 2013

Calidad del agua de riego. Tecno ciencia. 2003.

Consultado el 21 de junio del 2013

La aeroponia 2012. http://www.hidroponic.cl/la-aeroponia/

Consultado el 22 de junio del 2013

Uso y calidad del agua http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/312/aguapres.html
Consultado el 25 de junio del 2013

Agricultura protegida. Importancia de la agricultura protegida. http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/Agricultura-Protegida2012.aspx.
Consultado el 01 de julio del 2013

Siembra de papa mediante la aeroponia http://www.2000agro.com.mx/tecnologia/en-espana-realizan-primera-siembra-de-papa--gran-escala-mediante-aeroponia/
Consultado el 03 de julio del 2012

http://piragauta-cultivosaeroponicos.wikispaces.com/Tipos+de+aerop%C3%B3nicos
Consultado el 04 de julio del 2013

http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=101&chapter=
Consultado el 06 de julio del 2013

http://es.prmob.net/hidrop%C3%B3nico/planta/ferrari-2446765.html
Consultado el día 07 de julio del 2013

http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropon%C3%ADa
Consultado el 08 de julio

http://10equipo11.blogspot.mx/2011/11/brocoli-aeroponico-sulforaphanes.html
Consultado el 09 de julio del 2013

https://research.cip.cgiar.org/confluence/display/seedunit/Home
Consultado el 15 de julio del 2013

http://www.hydroponics-growshop.es/aeroponia-c-78
Consultado el 16 de julio del 2013

http://aeroponia23.wikispaces.com/ABSORCION+DE+NUTRIENTES
Consultado el 18 de julio del 2013

http://urbanorganicnews.com/what-is-aeroponics/
Consultado el 22 de julio del 2013

Agricultura moderna http://www.tomcorsonknowles.com/blog/why-vertical-aeroponic-gardening-is-the-future-of-agriculture/
Consultado el 26 de julio del 2013

Ferti control. www.agroelectronica.com
Consultado el 01 de agosto del 2013
http://www.aerofarms.com/why/technology/
Consultado el 05 de agosto del 2013
http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/BOLETIN_38/RED-HIDROPONIA-BOLETIN-38.htm
Consultado el 06 de agosto del 2013
http://www.larepublica.co/agronegocios/la-sostenibilidad-es-posible-con-el-uso-de-pr%C3%A1cticas-agr%C3%ADcolas-como-hidropon%C3%ADa-y
Consultado el 07 de agosto del 2013
Cultivos hidropónicos
http://www.actiweb.es/hidroponico/
Consultado el 10 de agosto del 2013
http://felixmaocho.wordpress.com/2013/05/07/huertos-familiares-aeroponia-horticultura-sin-tierra-vivir-del-aire/
Consultado el 12 de agosto del 2013
El tutorado de las plantas en el huerto
http://www.ecoagricultor.com/2013/03/el-tutorado-de-las-plantas-en-el-huerto/
Consultado el 13 de agosto del 2013
naturalezademedioambiente.wikispaces.com
Consultado el 14 de agosto del 2013
http//:www.hydrocultura.com.mx