

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Producción de Mini Tubérculos de Papa (*Solanum tuberosum* L.) para Semilla
Pre Básica en el Sistema Aeropónico en Función de la Solución Nutritiva

Por:

DAVID COLORADO RUIZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2016.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Producción de Mini Tubérculos de Papa (*Solanum tuberosum* L.) para Semilla

Pre Básica en el Sistema Aeropónico en Función de la Solución Nutritiva

Por:

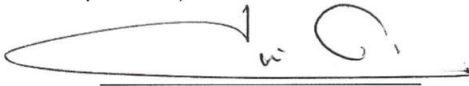
DAVID COLORADO RUIZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA


Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor principal



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor



Dra. Juana Cruz García Santiago
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Noviembre 2016.

DEDICATORIAS

A mi padre, Javier Colorado Ruiz, por ser mi guía, compañero y amigo, por tus consejos, valores y motivación constante y sobre todo por tu amor y comprensión, eres el hombre que más admiro y mi ejemplo a seguir.

A mi madre, Sara Ruiz Morales, por todas las atenciones que tienes conmigo por ser mi guía, y mi más grande motivación, por tu amor y comprensión, eres la mujer que más admiro.

A mi hermano, Paco Colorado Ruiz, por el apoyo que siempre me has brindado, tu confianza y por estar al pendiente en todo momento y por esos sabios consejos de vida.

A mi hermano, Jaime Colorado Ruiz, por la confianza que me has brindado, los consejos, los valores inculcados, por tu motivación y entusiasmo y el ejemplo de constancia y perseverancia ante la vida.

A mi hermana Nelly Colorado Ruiz, por tus consejos y el buen ejemplo de vida que me has otorgado.

A mis cuñadas Miriam y Rosa, que conforman parte importante de mi familia por su amabilidad y cuidado de los que más quiero.

A mis sobrinos Juan, Carmen, Alexa, Saraí, Jesús, Arturo, y Luis, por iluminar y dar alegría a nuestro hogar y recibirme siempre con mucho entusiasmo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi formación como persona y profesionalista en plena salud y con todas las bendiciones de día a día, y siempre guiándome por el camino correcto.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser mi Alma Terra Mater y por brindarme todas las oportunidades de crecer como persona y profesionalmente.

Al Doctor Luis Alonso Valdez Aguilar, por brindarme su confianza, su valiosa amistad y por todo el tiempo y apoyo dedicado este trabajo desde inicio a final, y por ser un ejemplo a seguir.

Al Doctor Alberto Sandoval Rangel por todos los conocimientos transmitidos por su confianza, su gran apoyo y por ser amigo a lo largo de mi estancia universitaria.

A la Doctora Juana Cruz García Santiago, por su contribución a este trabajo y el apoyo otorgado.

A Néstor Francisco García Zarate, por contribuir enormemente en este proyecto, por su valiosa amistad brindada y todo el apoyo a lo largo de nuestra estancia universitaria.

A Ramón Avilés Apolinar, por su valiosa amistad y el apoyo a lo largo de nuestra estancia universitaria.

A Joshua Moreno Luna, por su valiosa amistad, el apoyo y los consejos otorgados a lo largo de nuestra estancia universitaria.

A Estefania Morón Rabanales, por su tiempo, dedicación, comprensión su apoyo y todo el amor que me has otorgado en este corto tiempo.

A todos mis compañeros que participaron en la realización de este trabajo, Cesar Martínez, Diego López, Daniel Rivera. Gracias por permitirme aprender un poco de cada uno de ustedes.

ÍNDICE

Dedicatorias.....	I
Agradecimientos.....	II
Índice.....	III
Índice de cuadros y figuras.....	V
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
2. Revisión de literatura.....	4
2.1. Usos y consumos.....	4
2.1.1. Consumo doméstico.....	4
2.1.2. Consumo animal.....	4
2.1.3. Industria química.....	4
2.2. La planta.....	4
2.2.1. Flor.....	4
2.2.2. Hoja.....	5
2.2.3. Tallo.....	5
2.2.4. Brote.....	5
2.2.5. Raíz.....	5
2.2.6. Estolón.....	6
2.2.7. Tubérculo.....	6
2.3. Etapas fenológicas del cultivo.....	6
2.3.1. Condiciones de latencia.....	6
2.3.2. Brotación.....	7
2.3.3. Emergencia.....	7
2.3.4. Desarrollo de la planta.....	7
2.3.5. Patrón de fructificación.....	8
2.3.6. Producción de bayas.....	8
2.3.7. Proceso de tuberización.....	8
2.3.8. Desarrollo de los tubérculos.....	9
2.4. Semilla de papa.....	9
2.4.1. Categorías de semillas.....	10
2.4.2. Pre-básica.....	10
2.4.3. Básica.....	10
2.4.4. Registrada.....	10
2.4.5. Certificada.....	10
2.4.6. Semilla artesanal.....	10

2.5 requerimientos climáticos y edáficos.....	11
2.5.1. Temperatura.....	11
2.5.2. Horas luz.....	11
2.5.3. Precipitación.....	12
2.5.4. Viento.....	12
2.5.5. Altitud.....	12
2.5.6. Suelos.....	12
2.6 Hidroponía.....	12
2.7 Beneficios de la hidropónia.....	13
2.7.1. Opción en condiciones medioambientales limitantes.....	13
2.7.2. Producción de plantas de elevada calidad.....	13
2.7.3. Sistema adaptable a distintas condiciones.....	14
2.7.4. Control sobre aspectos de la producción.....	14
2.7.5. Mayores rendimientos.....	14
2.8. Sistemas.....	15
2.8.1. Raíz flotante.....	15
2.8.2. Sistema NFT.....	15
2.8.3. Aeropónia.....	16
3. Materiales y métodos.....	17
4. Resultados.....	21
5. Discusión.....	26
6. Conclusión.....	29
7. Bibliografía.....	30

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Efecto de las aplicaciones de calcio (Ca) y fósforo (P) suplementario en la acumulación de biomasa en plantas de papa desarrolladas en un sistema aeropónico.....	22
Cuadro 2. Efecto de las aplicaciones suplementarias de Ca y P en la acumulación de biomasa de la parte aérea (tallo y hoja) de plantas de papa desarrolladas en un sistema aeropónico.....	24
Cuadro 3. Efecto de las aplicaciones suplementarias de Ca y P en la acumulación de biomasa de la parte aérea (tallo y hoja) y la raíz de plantas de papa, desarrolladas en un sistema aeropónico.....	24
Figura 1. Diseño del sistema aeropónico.....	17
Figura 2. Efecto de la solución nutritiva y la suplementación de Ca y P en el número de tubérculos en plantas de papa desarrolladas en un sistema aeropónico.....	22
Figura 3. Relación entre el número de tubérculos y el peso fresco de la raíz en función de la suplementación de Ca y P, en plantas de papa, desarrolladas en un sistema aeropónico.....	23

1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es originaria de América, específicamente de la región sur, en donde se ubica la zona andina, que comprende los países de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, aunque también se ha podido demostrar, que algunas variedades silvestres son originarias de México (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013). A nivel mundial, *la papa* es el tercer cultivo más importante después del arroz y el trigo (Hancock *et al.*, 2013).

Debido a las características nutricionales del tubérculo (alto contenido de carbohidratos, vitaminas y minerales), el cultivo de la papa se considera decisivo para la seguridad alimentaria de ciertos millones de personas del mundo en desarrollo (FAO, 2008).

Debido al uso excesivo de productos químicos, la no rotación de cultivos y la utilización de tubérculos semilla infectado, han traído como consecuencia la disminución de la calidad y el rendimiento del cultivo, dicho problema se le atribuye en gran parte a la semilla contaminada.

Actualmente los productores de papa enfrentan retos cada vez más grandes para lograr los objetivos de producción, uno de estos retos a combatir es la diseminación de plagas y enfermedades en el material vegetal utilizado como semilla, en suelos no contaminados (Montes de Oca, 2005).

Los tubérculos utilizados como semilla en el cultivo de papa son generalmente el insumo más costoso representando del 40 al 50 % de los costos de producción del cultivo (Kyamanywa *et al.*, 2011).

En diferentes lugares del mundo donde no se tiene un método oficial de distribución de semillas certificadas, los productores han creado su propio método de obtención de tubérculos semilla, mediante la selección de los mismos; vendiendo los tubérculos de calidad con tamaño grande y mediano, mientras que los de tamaño chico son el material destinados para semilla.

El método de selección utilizado por los agricultores que no tienen acceso a material certificado provoca la degeneración del tubérculo semilla de papa, la reducción en el rendimiento, baja calidad de los tubérculos comerciales y aumento en los costos de producción, todo ello causado por una acumulación de patógenos y plagas en el material de siembra debido a los ciclos sucesivos de propagación vegetativa.

Existen hasta 40 diferentes patógenos que causan enfermedades transmitidas por el suelo (Fiers *et al.*, 2012).

La solución que se propone frecuentemente a este problema ha sido el aumento de la disponibilidad y el acceso de los agricultores a material de semillas producidas fuera de la finca por los productores de semillas especializados (Mateus-Rodríguez *et al.*, 2013).

La alta variabilidad climática y la cultura del uso excesivo de insumos como fertilizantes, pesticidas, entre otros, han ocasionado una tendencia hacia la baja rentabilidad y disminución del rendimiento y calidad del cultivo.

Por ello la semilla es el primer insumo para desarrollar buenos cultivos, el uso de semilla de buena calidad es importante, ya que una semilla que no esté en condiciones sanitarias, físicas y fisiológicas adecuadas, producirá brotación desuniforme, un pobre desarrollo de plantas y bajos rendimientos y se corre el riesgo de diseminar, plagas y enfermedades, que se transmiten a través de la semilla de mala calidad.

Por lo anterior es necesario buscar una técnica eficiente para la producción de minitubérculos de papa, libre de plagas y enfermedades, que ayude a disminuir en gran medida los problemas fitosanitarios, bajar los costos de producción y de igual forma contribuirá al cuidado del medio ambiente al reducir la aplicación de productos químicos.

Una alternativa para solucionar los problemas anteriormente mencionados es la hidropónia o cultivo sin suelo, en el cual las plantas crecen y se desarrollan en un

medio con una solución nutritiva, con o sin un sustrato como medio de soporte (Urrestarazu, 2009).

Con el fin de aumentar la tasa de multiplicación y calidad del material vegetal de siembra para el cultivo de papa, se han ensayado múltiples técnicas en las últimas décadas, como los sistemas hidropónicos (Chang *et al.*, 2012).

Sin embargo, la mayoría de estas técnicas tienen severas limitaciones debido a una aireación inadecuada de las raíces, por lo que los sistemas aeropónicos han demostrado ser más eficientes para la producción de semillas pre básicas de papa de mayor calidad (Ritter *et al.*, 2001; Nickols, 2005).

Para tener éxito en el desarrollo del cultivo de mini tubérculos de papa y obtener semillas de calidad, es necesario que se conozcan, los aspectos básicos de su manejo y requerimientos mínimos y principios básicos del sistema aeropónico.

El diseño y funcionamiento óptimo del sistema aeropónico, contribuirá a lograr los objetivos de producción, desarrollar mejores cultivos, reducir los costos de producción y contribuir a la producción que alimentos que demanda la sociedad.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la producción de minitubérculos para semilla pre-básica de papa a través del sistema aeropónico.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Diseñar un sistema aeropónico automatizado para la producción de minitubérculos de papa.

Evaluar el efecto de la concentración de la solución nutritiva en el sistema aeropónico para la producción de minitubérculos de papa.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 USOS Y CONSUMOS (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013).

La papa es una hortaliza de diversas formas de usos y consumos:

- 2.1.1 *Consumo doméstico*: el principal uso es en fresco, utilizado en la elaboración de platillos gastronómicos, producción de hojuelas o chips, bastones de papa pre cocida o para freír, puré, mayonesas, jaleas.
- 2.1.2 *Consumo animal*: se utiliza en la elaboración de forrajes y abonos, entre otros.
- 2.1.3 *Industria química*: para extraer alcohol y fabricar licores, esencias y aromas, además, puede utilizarse en la producción de cosméticos y medicinas, entre otros. Como pulpa se puede extraer proteína líquida, seca y se usa también como papa deshidratada conglutinante.

2.2 LA PLANTA

2.2.1 FLOR

Flores con pedicelos articulados cerca de la base y de 1-3,5 cm, y con pedúnculos de 5-10 cm. Cáliz con tubo de unos 5mm y 5 lóbulos subyúgales lanceolados y acuminados de 5-8mm. Corola de 2.5-4cm. De coloración blanca, rosada, azul, violeta o purpúrea, rotado-pentagonal, la coloración de esta dependerá de la variedad que se maneje Filamento estaminales de unos 2 cm. Anteras amarillas o anaranjadas, de 6-7 mm de longitud (Alonso, 2002).

2.2.2 HOJA

Son compuestas, imparipinnadas y con folíolos primarios, secundarios e intercalares cuyo número y tamaño es un carácter que se expresa de acuerdo a la variedad, aunque está influenciado por las condiciones del crecimiento, la nerviación de las hojas es reticulada, con mayor densidad en los nervios y en los bordes del limbo (Ruiz, 1992).

2.2.3 TALLO

Son aéreos, gruesos, fuertes y angulosos, siendo al principio erguido y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo. Los tallos se originan en las yemas del tubérculo, son de color verde pardo. El corte de la sección transversal es hueco y triangular, se considera que un tallo, es el tallo principal si crece directamente del tubérculo semilla madre. Las ramas laterales que salen al tallo principal se llaman tallos secundarios (Alonso, 2002).

2.2.4 BROTE

El brote es un tallo que se origina en el ojo del tubérculo. Su tamaño y apariencia varía según las condiciones en las que se ha almacenado el tubérculo. Cuando se siembra el tubérculo los brotes aceleran su crecimiento y al salir a la superficie del suelo, se convierten en tallos los cuales emiten hojas a sus costados (Alonso, 2002).

2.2.5 RAÍZ

La raíz es la estructura subterránea, responsable de la absorción de agua y nutrientes es del tipo adventicio. Se origina en los nudos de los tallos subterráneos

y en conjunto forma un sistema fibroso. Cuando proviene de semilla botánica, es del tipo pivotante (Alonso, 2002).

2.2.6 ESTOLÓN

El estolón es un tallo subterráneo que se origina en la yema del tallo subterráneo. El extremo del estolón tiene la forma de gancho. Es un tallo especializado en el transporte azúcares producidas en las hojas y que se almacenarán en el tubérculo en forma de almidones, para su posterior crecimiento (Alonso, 2002).

2.2.7 TUBÉRCULO

El tubérculo es la porción apical del estolón cuyo crecimiento es fuertemente comprimido y orientado hacia los costados, por la constante acumulación de almidón. El tubérculo de papa es el tallo subterráneo especializado para el almacenamiento de los excedentes de energía (Alonso, 2002).

2.3 ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO

Etapas fenológicas del cultivo según Román y Hurtado (2002):

2.3.1 CONDICIONES DE LATENCIA

El periodo de latencia de los tubérculos semilla puede ser reducido mediante tratamientos químicos o mediante algunos métodos físicos. Se ha observado que los tubérculos que se producen en zonas de mayor altitud necesitan menos tiempo para romper el periodo de latencia.

El periodo de latencia dura de 1-4 meses, y tras él se produce la brotación de los tubérculos. En la brotación se distinguen tres sub periodos:

Dominancia apical: solo se desarrolla la yema del brote apical. Este sub periodo puede durar un mes si las temperaturas son favorables (12 °C).

Brotación normal: el tubérculo brota por varios ojos, dando lugar a varias plantas. Al igual que antes, si las temperaturas son favorables (12 °C), este sub periodo se puede acortar a 1-2 meses. Si no se puede alargar hasta 7 meses.

Sobre madurez: Los tubérculos están prácticamente agotados y solo dan lugar a débiles ramificaciones.

2.3.2 BROtación

Ocurre cuando comienzan a emerger las yemas de los tubérculos; dura 2 a 3 meses, luego la papa está apta para sembrarse, es ideal que los tubérculos presenten por lo menos 3 brotes cortos y fuertes, y tengan una longitud de 0.5 a 1 cm.

2.3.3 EMERGENCIA

Los brotes emergen a los 10 a 12 días en tubérculos, y de 8 a 10 días en semilla sexual, cuando son plantados en el campo y en condiciones adecuadas de temperatura y humedad en el suelo, para su desarrollo.

2.3.4 DESARROLLO DE LA PLANTA

Las plantas provenientes de semilla tubérculo emiten tallos herbáceos, en ésta etapa, hay crecimiento y expansión de lo que conformará el índice de área foliar produciendo follaje y raíces en forma simultánea.

2.3.5 PATRÓN DE FRUCTIFICACIÓN

En el cultivo de papa se diferencian dos patrones de fructificación: la producción de bayas, donde se encuentra la verdadera semilla sexual, y la producción de tubérculos.

2.3.6 PRODUCCIÓN DE BAYAS

Las flores se auto polinizan generalmente en un 98%; y un 2% de polinización cruzada. Las flores pasan abiertas por unos 3 a 5 días, luego caen los pétalos y comienza el ovario a crecer y a formar una baya de color verde, de forma redonda, generalmente llega a medir hasta 2.5 cm de diámetro. En el interior de ésta crecen las semillas, alrededor de 200 por baya. El tiempo de maduración de las bayas es de 45 a 60 días después de la floración.

2.3.7 PROCESO DE TUBERIZACIÓN

Antes de que se lleve a cabo la tuberización, la planta sufre un notable crecimiento vegetativo, que va aminorando progresivamente hasta la tuberización. Todo apunta a que existe una sustancia que induce la tuberización y que se sintetiza en las hojas cuando las condiciones ambientales son favorables.

Además, la tuberización se ve favorecida por determinados factores que desencadenan el proceso:

- Temperatura: Por debajo de 18°C favorece la tuberización, mientras que temperaturas altas durante la noche favorece el desarrollo aéreo.
- Fotoperiodo: éste cultivo tuberiza en condiciones de día corto. Dependiendo de las variedades existe un fotoperiodo crítico por encima del cual se inhibe la tuberización. En variedades precoces está determinado en 16 h.

- Variedad y estado de madurez del tubérculo madre: En tubérculos de mayor edad la tuberización se produce antes.

El cultivo es propio de climas templados. La temperatura óptima de crecimiento es de 15-18°C, prefiere temperaturas frescas durante la noche y es bastante sensible a las heladas tardías.

2.3.8 DESARROLLO DE LOS TUBÉRCULOS

Los tubérculos comienzan a formarse a partir de los estolones cuando la planta comienza la floración (en variedades que florecen); generalmente esto ocurre de 35 a 45 días después de la siembra. Los tubérculos alcanzan la madurez fisiológica a los 75 días, en variedades precoces, 90 días para intermedias y 120 días para variedades tardías. El proceso de crecimiento de los tubérculos se da a partir de la finalización de la tuberización, desde ese momento los tubérculos empiezan a almacenar almidón proveniente de la parta aérea. Al cumplimiento de los días de cultivo los tubérculos pueden cosecharse y almacenarse.

2.4 SEMILLA DE PAPA

Generalmente se llama semilla al tubérculo seleccionado y en condiciones óptimas que es destinado para la reproducción y producción de la papa (Román y Hurtado, 2002).

Una semilla que no esté en buenas condiciones sanitarias, físicas y fisiológicas, producirá germinación des-uniforme, un pobre desarrollo y crecimiento de las plantas, además de bajos rendimientos y se corre el riesgo de diseminar, involuntariamente, plagas y enfermedades, que se transmiten a través del tubérculo semilla de mala calidad (Montes de Oca, 2005).

La producción de semillas es un elemento clave en la producción de papa, hoy en día en muchos países del mundo la introducción de microtubérculos y minitubérculos son la base para la producción de material vegetal para semilla (Wróbel, 2014).

La semilla de calidad es el tubérculo que muestra las condiciones genéticas, físicas, fisiológicas y sanitarias para reproducir plantas que, en condiciones adecuadas de cultivo, reproducirán las características y el potencial de la variedad que se ha sembrado (Montes de Oca, 2005).

2.4.1 Las categorías de semillas son las siguientes (Mejía *et al.*, 2013).

2.4.2 **Pre-básica:** semillas producidas en invernaderos, también denominadas mini tubérculos, provenientes de sistemas hidropónicos.

2.4.3 **Básica:** semilla producida en casa malla y campo, a partir de semilla pre-básica. Puede mantener su categoría hasta tres generaciones, si las condiciones de manejo fitosanitario de las plantas en las casas mallas lo permiten.

2.4.4 **Registrada:** semilla producida a partir de la semilla básica. Por lo general, su multiplicación es en campo abierto.

2.4.5 **Certificada:** semilla producida a partir de semilla registrada. Su multiplicación es en campo abierto, bajo estrictas condiciones técnicas y con supervisión de un ente regulador.

2.4.6 **Semilla artesanal:** producción de semilla-tubérculo obtenida de una producción comercial y seleccionada por productores a partir de semilla certificada, que haya presentado buenas condiciones fitosanitarias y de rendimiento.

2.5 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS

Condiciones de cultivo según Román y Hurtado (2002):

2.5.1 TEMPERATURA

La producción de papa en el trópico se ve favorecida por las condiciones de clima que se da en las tierras altas, donde la temperatura es relativamente fresca debido a que la papa requiere temperaturas de 15 a 20°C para su tuberización (formación de tubérculos) y crecimiento. La papa es considerada una planta termo periódica, lo que significa que es necesario una variación, entre la temperatura diurna y la nocturna, de por lo menos 10°C.

Si la diferencia es menor, el crecimiento y tuberización se ven afectados. Cuando esta situación se da a menudo, a lo largo del ciclo vegetativo, el rendimiento y la calidad son afectados, pues las temperaturas altas son ideales para el crecimiento de tallos y hojas, pero no para los tubérculos. La temperatura influye en la brotación de los tubérculos semillas, en la utilización de nutrimentos, pérdida de agua y en las etapas fenológicas del cultivo.

2.5.2 HORAS LUZ

El cultivo de papa se comporta mejor con períodos de 8 a 12 horas luz. La luminosidad que reciben las plantas durante el día incide en la función de los cloroplastos y desencadena una serie de reacciones en las que interviene el dióxido de carbono y el agua, que ayudan a la formación de los diferentes tipos de azúcares que pasan a formar parte de los tubérculos.

2.5.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación o cantidad óptima de agua requerida es de 600 mm, distribuida en todo su ciclo vegetativo; las mayores demandas se dan en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo cual es necesario efectuar riegos suplementarios en los períodos críticos o cuando no se presenta lluvia.

2.5.4 VIENTO

El viento debe ser moderado, ya que las plantas no resisten vientos con velocidades mayores, a 20 km/hora, sin que estos causen daños o influyan en los rendimientos.

2.5.5 ALTITUD

La altitud ideal para el desarrollo y producción del cultivo de la papa se encuentra entre los 1,500 a 2500 msnm.

2.5.6 SUELOS

Los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco arcillosos, de textura liviana, con buen drenaje y con una profundidad efectiva mayor de los 0.50 m, que permitan el libre crecimiento de los estolones y tubérculos y faciliten la cosecha.

2.6 HIDROPÓNIA

La palabra hidropónia proviene del griego (*Hydro*) que significa agua y (*Ponos*) que significa labor, trabajo o esfuerzo; traducido literalmente significaría trabajo en agua FAO, (2000).

El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua lo define como el cultivo de plantas en soluciones acuosas; sin embargo, actualmente la palabra involucra todas aquellas formas en que se cultivan plantas con algún soporte (arena, grava, carbón, etc.), sin el uso de suelo, en donde son alimentadas mediante una solución de nutrimentos minerales (sales minerales) que se les suministra por medio del agua de riego (Castillo, 2001).

2.7 BENEFICIOS DE LA HIDROPÓNIA

La hidropónia es un sistema de producción del cual podemos obtener muchas ventajas si es que sabemos implementarlo de la manera correcta. Según (Morales *et al.*, 2005), las ventajas de un sistema hidropónico son los siguientes:

2.7.1 OPCIÓN EN CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES LIMITANTES

La hidropónia se erige como la opción adecuada para cultivar cuando se tienen condiciones restrictivas de suelo y agua, así como condiciones climáticas adversas. De la misma manera en la hidropónia se aprovecha mejor el agua pudiendo llegar a instalar sistemas de riego cerrados, en los cuales se recircula el agua. También es un sistema adecuado en lugares donde llueve poco porque es posible controlar la frecuencia y la cantidad de riego con lo cual es poco probable que las plantas lleguen al estrés hídrico.

2.7.2 PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE ELEVADA CALIDAD

Debido a que la hidropónia nos ofrece la posibilidad de controlar la mayor parte de los factores que influyen en el desarrollo de los cultivos, es muy factible obtener productos de calidad superior a los cultivados a campo abierto, en donde los efectos de los factores climáticos sobre las plantas son aleatorios debido a su propia naturaleza, los cuales tienen una alta probabilidad de mermar la calidad de los productos.

2.7.3 SISTEMA ADAPTABLE A DISTINTAS CONDICIONES

La hidropónia es un sistema bastante versátil que puede ser modificado o adaptado a las necesidades de producción que se tengan, pues tanto las características socioeconómicas como las medioambientales implican diversas necesidades tecnológicas. Es por ello que es posible utilizarla desde grandes empresas con niveles elevados de automatización hasta pequeños huertos familiares con iguales posibilidades de éxito.

2.7.4 CONTROL SOBRE ASPECTOS DE LA PRODUCCIÓN

Hay muchos aspectos del cultivo sobre los cuales se puede tener control, siempre y cuando se cuente con un sistema hidropónico adecuado, la nutrición y las condiciones climáticas en las que se encuentra el cultivo son unos de los aspectos que se pueden controlar.

2.7.5 MAYORES RENDIMIENTOS

Conjuntando todas las ventajas anteriores se pueden obtener mayores rendimientos por unidad de superficie que en campo abierto, siempre y cuando los cuidados al cultivo sean los adecuados, porque es necesario mencionar que parte del éxito de los sistemas hidropónicos proviene de una adecuada atención a cualquier detalle del cultivo, lo cual significa saber manejar cada inconveniente de manera rápida y efectiva.

2.8 SISTEMAS

2.8.1 RAÍZ FLOTANTE

En este sistema no se utiliza sustrato sólido, las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utilizan láminas de nieve seca a las que se les perforan agujeros en donde se asientan las plantas, y luego se ponen a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces.

Se puede decir que este sistema representa la verdadera hidroponía, ya que el trabajo se realiza en agua, a la que se le agregan los nutrimentos minerales (Díaz y Vargas, 2004).

2.8.2 SISTEMA NFT

El sistema de cultivo por NFT (Nutrient Film Technique) que traducido al español significa "la técnica de la película nutriente", es una de las técnicas más utilizadas en la hidroponía, la cual se basa en la circulación continua o intermitente de una fina lámina de solución nutritiva a través de las raíces del cultivo, sin que éstas por tanto se encuentren inmersas en sustrato alguno, sino que simplemente quedan sostenidas por un canal de cultivo, en cuyo interior fluye la solución en donde no existe pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se considera un sistema de tipo cerrado.

En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas, y estos canales están apoyados sobre mesas o caballetes con una ligera pendiente o desnivel que facilita la circulación de la solución (Carrasco, 1996).

2.8.3 AEROPÓNIA

La técnica de la cultura aeropónica es un método opcional de cultivo sin sustrato en entornos controlados. Este método consiste en encerrar el sistema radicular en una cámara oscura y suministrar solución nutritiva con un dispositivo de niebla o nebulización de solución nutritiva (Mateus *et al.*, 2013). El sistema aeropónico consta principalmente de una unidad eléctrica, dos cámaras de crecimiento a prueba de luz (oscura), una cámara de solución de nutrientes, una bomba de alta presión, filtros y boquillas de pulverización (Singh *et al.*, 2010).

La tecnología de la aeroponía es potencialmente eficiente para cultivares específicos de papa (Rykaczewska, 2016).

El cultivo de plantas de papa en el sistema aeropónico se considera seguro y ecológico ya que tiene la capacidad de conservar agua y energía empleada, ya que se utiliza la recirculación de la solución nutritiva, comparativamente tiene un menor aporte de agua y nutrientes por unidad de área de cultivo (Farran y Mingo-Castel, 2006).

El sistema aeropónico es uno de los métodos más rápidos y eficientes de propagación de minitubérculos de papa utilizados como semilla, la técnica es capaz de producir un gran número de minitubérculos en una generación, eliminando así la necesidad de reproducción de semilla en campo y reduciendo los problemas de sanidad del tubérculo semilla (Otazu, 2008). Aunque según Otazu (2010), cuando se presenta infección de patógenos en la raíz del cultivo, la diseminación de éste es rápida y puede conducir a la pérdida de todas las plantas por unidad de producción.

Existen dos limitaciones principales para la producción en un sistema aeropónico, la primera es que el adecuado desarrollo del cultivo depende del bajo volumen disponible para el sistema de raíces, y la segunda limitación es que cualquier pérdida de potencia de las bombas puede producir daños irreversibles incluyendo la pérdida total de la planta.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano de 2015, en las instalaciones del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo Coahuila. En un invernadero de tipo túnel donde las condiciones de temperatura mínima y máxima promedio fueron de 12 y 27° C, respectivamente, mientras que la humedad relativa oscilo entre 45% y 75%. La radiación fotosintéticamente activa incidente durante la hora de mayor insolación (12:00 a 14:00) fue en promedio de 460 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

El diseño del sistema aeropónico inicio con la fabricación de tres estructuras de soporte, para lo cual se utilizó tubo cuadrangular de una pulgada. A cada estructura se soldó dejándola con medidas de 1.60 metros de largo, 80 centímetros de ancho y 1.20 metros de altura, con un tubo de separación cada 40 centímetros, posteriormente las estructuras se pintaron con pintura anti-corrosiva para evitar daños y oxidación del tubo ya que éste estaría en continuo contacto con el agua. Figura 1.

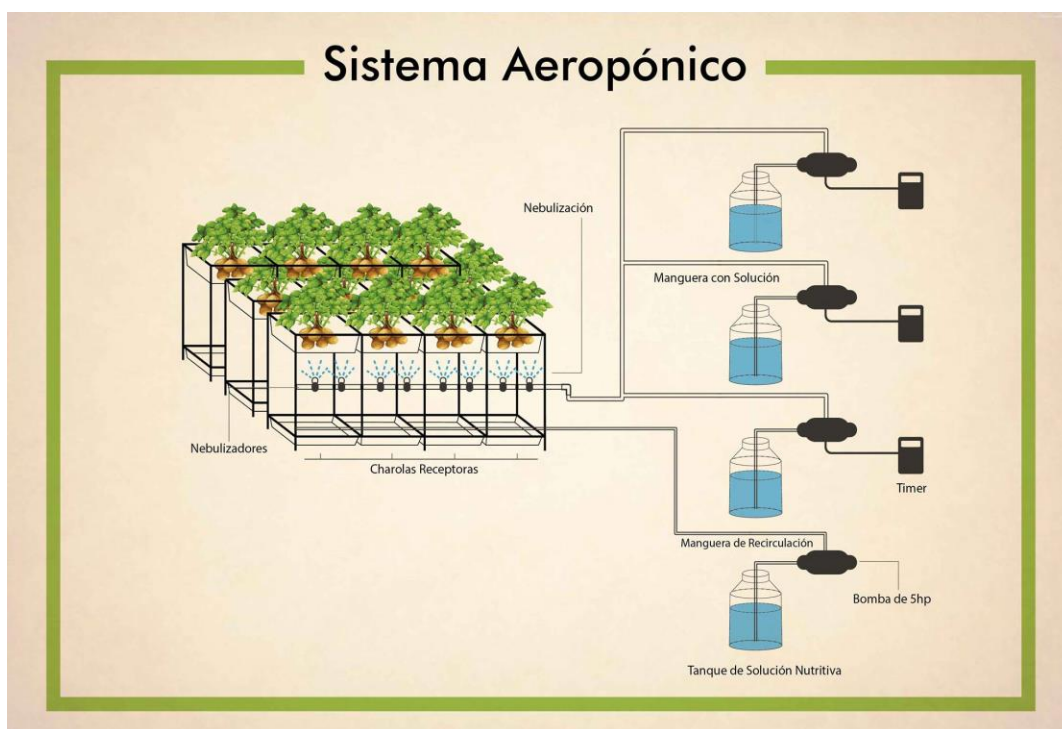


Figura 1. Diseño del sistema aeropónico

Las separaciones superiores de la estructura se cubrieron con placas de nieve seca a las cuales se les hizo una cavidad cada 25 cm. Para dar soporte a la planta. En las separaciones laterales de la estructura se colocaron placas de nieve seca, la instalación se hizo de tal forma que las placas cumplieran la función de puerta para en cierto momento quitarlas y poder observar el desarrollo y crecimiento de las raíces o en su caso arreglar cualquier falla del sistema interno. Las placas de nieve seca se forraron con plástico negro para evitar la pérdida de solución nutritiva y proporcionar un ambiente obscuro y cerrado a las raíces.

Para instalar el sistema de riego excavó el suelo para colocar cuatro tambos de 200 L. en los cuales se colocarían las soluciones nutritivas. Además se instaló una manguera a la mitad de la estructura por cada separación (cada 40 cm.) A cada manguera se le colocaron cuatro nebulizadores, los cuales fueron los responsables de asperjar la solución nutritiva en forma de neblina o nebulización a las raíces. A cada tanque se le instaló una bomba de ½ HP cada una, las cuales bombearon la solución nutritiva a cada separación de la estructura.

En la parte inferior de la estructura se colocaron tinajas de plástico rígido de 40 cm. de ancho, 20 cm. de profundidad y 80 cm. de largo, a las cuales se les perforo en la parte inferior para conectar una manguera la que trasladaría la solución nutritiva nuevamente al tanque para almacenarla y volver a nebulizarla en riegos posteriores.

Se conectó cada bomba a un timer, el cual se programó para hacer el encendido y apagado del sistema de riego, dando riegos de acuerdo a las horas del día.

Se utilizaron tubérculos de la variedad Fiana en condiciones óptimas de madurez y sanidad, para emplearlos como semilla y extraer plántula. Previo a la siembra de los tubérculos se les dio un tratamiento de desinfección además de un tratamiento químico como preventivo.

Los tubérculos tratados fueron sembrados en contenedores de plástico de 15 cm. de diámetro, depositando tres tubérculos contenedor en sustrato inerte, una mezcla compuesta de 50% peatmoss y 50% perlita.

La emergencia de estos tubérculos semilla se dio a los 12 días después de la siembra, durante este periodo y hasta que la plántula alcanzara una altura de 10 cm. se regó manualmente, los riegos fueron sólo con agua, además se hicieron dos aplicaciones de insecticida y dos preventivas de fungicida.

Cuando las plantas alcanzaron la altura deseada se realizó el trasplante de las plantas del contenedor al sistema aeropónico, antes de realizar el trasplante, se sacó las plantas de las macetas y se les lavó la raíz, para eliminar restos de sustrato. Posteriormente, las plantas ya lavadas se colocaron en un contenedor con agua destilada para desinfectar las plantas y evitar que éstas se deshidraten. Se colocó una plántula por cavidad, sujetándola con pedazos de nieve seca para que éstas quedaran fijas y evitar que se cayera dentro de los cajones. El trasplante se realizó a las 18:00 pm. para evitar deshidratación de las plantas por pasar de un medio con sustrato a un medio sin sustrato.

Se utilizaron cuatro soluciones nutritivas; una empleada como Testigo: N 12 meq, P 5.3 meq, K 9 meq, Ca 1.3 meq, Mg 1.1 meq, S 0.5 meq.

A la segunda se le aumento la cantidad de Ca = T+ Ca 4.8 meq.

A la tercera se le aumentó P = T + P 6.3 meq.

Y a la cuarta solución nutritiva se le aumentó el Ca + P = T + Ca + P.

Para efectuar el riego se conectó cada bomba a un timer, el cual se programó para hacer el encendido y apagado del sistema de riego durante el día y la noche. La programación de los timer durante el día se realizó con intervalos de riego de 15 minutos de encendido y 15 minutos de apagado de la bomba, mientras que para regar en la noche, los intervalos fueron con 30 minutos encendidos y 30 minutos apagado de las bombas.

Se realizaron mediciones y ajustes diarios de la CE, pH y balance nutricional de la solución nutritiva con ayuda de los ionómetros marca Horiba.

Dentro del manejo de cultivo se realizaron aplicaciones semanalmente de insecticida y fungicida como medida de prevención ante posibles patógenos.

A los 30 días del trasplante del cultivo se realizó el tutoreo de las plantas para evitar su volcadura. Además se realizaron aplicaciones semanalmente de insecticida y fungicida como medida de prevención ante posibles patógenos.

La cosecha de los minitubérculos de papa comenzó a los 45 días después del trasplante del cultivo, cosechando sólo los tubérculos de 2 centímetros de diámetro. La cosecha se realizó cada tercer día hasta los 90 días después del trasplante del cultivo.

Se utilizó un diseño completamente al azar con un tratamiento testigo y tres tratamientos más, cada uno con 3 repeticiones, obteniendo 36 plantas por tratamiento y 12 por cada repetición, con un total de 144 plantas a las cuales se evaluó longitud de raíz, número de tubérculos por planta, longitud de tubérculos, peso fresco de raíz, peso fresco de hoja, peso fresco de tallo y peso fresco total.

4 RESULTADOS

En comparación con las plantas desarrolladas con la solución testigo, la aplicación de Ca suplementario en la solución nutritiva no tuvo un efecto significativo sobre el peso fresco de raíz (Cuadro 1), asimismo la aplicación suplementaria de P no tuvo un efecto sobre esta respuesta. Sin embargo, cuando ambos nutrimentos se aplicaron juntos en la solución nutritiva, si se obtuvo un incremento significativo sobre el peso fresco de raíz, el cual fue del 102% aproximadamente (Cuadro 1).

En cuanto a la aplicación de Ca para el peso fresco de la hoja no tuvo un efecto significativo (Cuadro 1), por lo contrario con la aplicación suplementaria de P, si hubo una importancia significativa, mismo que también se observó en la aplicación suplementaria de Ca + P (Cuadro1).

La aplicación suplementaria de Ca no tuvo un efecto significativo sobre el peso fresco de los tubérculos, de la misma manera la aplicación suplementaria de P no tuvo un efecto significativo respecto de la solución Testigo la cual sin adición de ningún nutrimento si presentó un efecto significativo (Cuadro1).

De igual manera se presentó en suplementación de Ca + P donde también se presentó un efecto significativo de aproximadamente 105% y 106 % respectivamente, del tratamiento con aumento de P (Cuadro1).

Para la variable del peso fresco del tallo en ninguno de los tratamientos se observó un efecto significativo para el aumento del peso fresco del tallo (Cuadro1).

Cuadro 1. Efecto de las aplicaciones de calcio (Ca) y fósforo (P) suplementario en la acumulación de biomasa en plantas de papa desarrolladas en un sistema aeropónico. Testigo: N 12 meq, P 5.3 meq, K 9 meq, Ca 1.3 meq, Mg 1.1 meq, S 0.5 meq. + Ca = Ca 4.8 meq, + P = P 6.3 meq. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$)

TRATAMIENTO	Peso fresco Raíz g.	Peso Fresco Hoja g.	Peso Fresco Tubérculos g.	Peso Fresco Tallo g.	Peso Fresco Total g.
Testigo (T)	122.27 B	172.70 B	1727.1 A	162.57 A	2184.7 AB
T + Calcio (T + Ca)	95.57 B	164.80 B	684.0 B	135.50 A	1079.8 B
T + Fosforo (T + P)	156.57 B	297.73 A	337.8 B	204.57 A	1663.4 AB
T + Calcio +Fosforo (T + Ca + P)	247.37 A	399.67 A	2030.3 A	224.53 A	3001.8 A

La aplicación suplementaria de Ca tuvo un efecto de reducción en cuanto al número de tubérculos, mientras que la aplicación suplementaria de P no se observó un efecto significativo en comparación con las plantas del tratamiento testigo; y de manera contraria, con la aplicación suplementaria de los dos nutrimentos Ca + P si se observó un efecto significativo en cuanto al número de tubérculos (Figura 2).

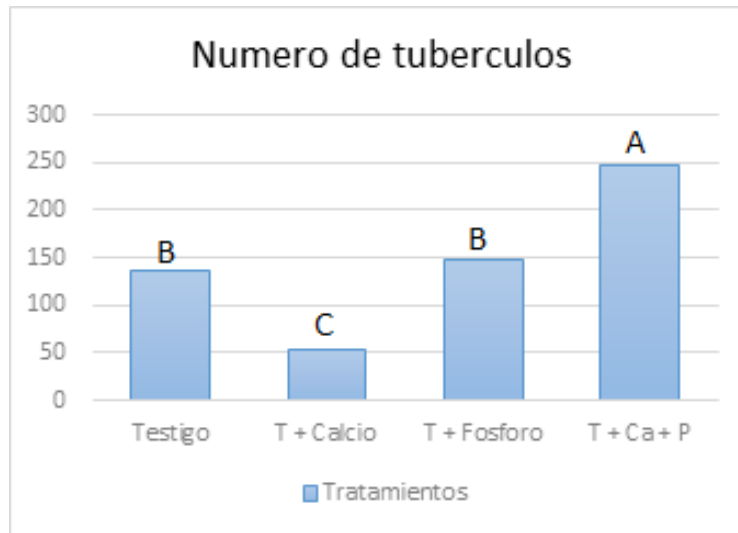


Figura 2. Efecto de la solución nutritiva y la suplementación de Ca y P en el número de tubérculos en plantas de papa desarrolladas en un sistema aeropónico. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$)

El peso fresco de raíces mostro una relación cuadrática en cuanto al número de tubérculos por planta, de tal forma que al aumentar la biomasa de raíces se produce un mayor número de estolones y con ello se obtiene un mayor número de tubérculos por planta (Figura 3).

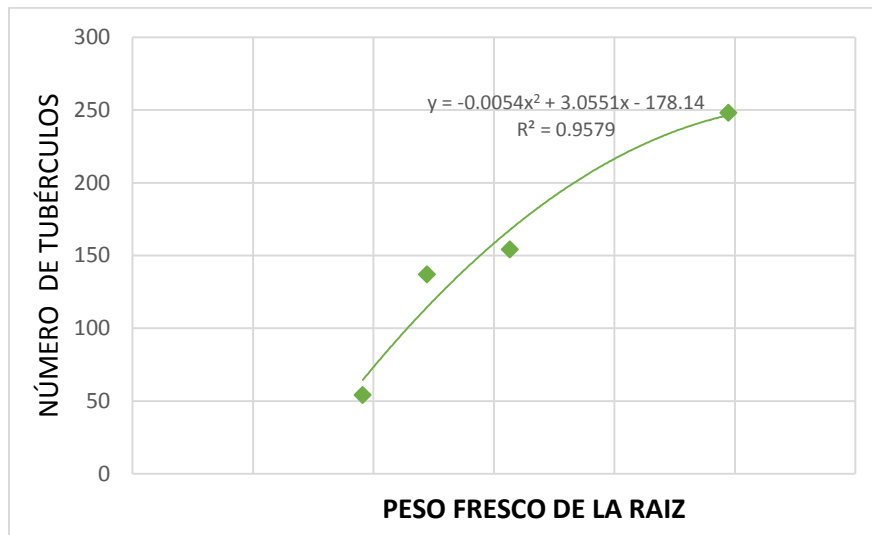


Figura 3. Relación entre el número de tubérculos y el peso fresco de la raíz (g) en función de la suplementación de Ca y P, en plantas de papa, desarrolladas en un sistema aeropónico. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$)

En cuanto a la aplicación adicional de Ca para la parte aérea no se observó un efecto significativo en relación al testigo, de igual manera con el aumento del P, no sin embargo con la aplicación suplementaria de Ca + P si hubo un efecto significativo con un aumento del 102 % aproximadamente en relación al peso fresco aéreo de las plantas con el tratamiento testigo (Cuadro 2).

TRATAMIENTO	Parte aérea
Testigo	335.27B
T + Calcio	300.30 B
T + Fosforo	502.30 B
T + Calcio +Fosforo	724.20 A

Cuadro 2. Efecto de las aplicaciones suplementarias de Ca y P en la acumulación de biomasa de la parte aérea (tallo y hoja) de plantas de papa desarrolladas en un sistema aeropónico. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

Para el índice de peso la aplicación suplementaria de los nutrimentos estudiados, no mostraron un efecto significativo en cuanto al aumento del índice de peso (Cuadro 3).

TRATAMIENTO	Índice de peso
S. 1 Testigo	2.7667 A
S. 2 + Calcio	3.1333 A
S. 3 + Fosforo	3.3333 A
S. 4 + Calcio +Fosforo	3.0000 A

Cuadro 3. Efecto de las aplicaciones suplementarias de Ca y P en la acumulación de biomasa de la parte aérea (tallo y hoja) y la raíz de plantas de papa, desarrolladas en un sistema aeropónico. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

5. DISCUSIÓN

El mayor peso fresco de la raíz se presentó en el tratamiento donde se adicionó Ca + P juntos, lo cual puede ser debido a que el P interviene en el crecimiento y división celular, lo cual proporciona un rápido crecimiento a la raíz (García, 2008).

El mayor número de tubérculos se observó en el tratamiento con suplementación de Ca y P debido a que en esas plantas hubo una mayor masa radicular. Esto puede atribuirse a la sincronía que tienen estos dos nutrimentos en el favorecimiento del crecimiento de la raíz ya que el Ca interviene en el alargamiento celular y formación de mayor número de estolones. En este sentido (Cakmak, 2002) quien reporto un aumento en el número de estolones por la suplementación de calcio en la solución del suelo.

Por otra parte se ha reportado que el P favorece la floración y cuajado de frutos (Brown y Hu, 1999), por lo cual al haber un mayor número de estolones en el proceso de tuberización se logró aumentar el número de frutos amarrados por planta.

De las variables evaluadas los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento donde se hizo una suplementación de calcio y fosforo juntos, obteniendo una diferencia significativa en el peso fresco de la raíz, de igual manera una diferencia significativa del peso del tubérculo, lo cual se traduce a un mayor número de tubérculos por planta para ese tratamiento, esto pudiera atribuirse a la interacción de estos dos nutrimentos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de papa.

La interacción entre el Ca y el P es compleja debido a que estos iones tienen efecto de apoyo, pero también un efecto donde se contrarrestan entre sí. El efecto de apoyo es debido a una absorción simultánea y translocación de calcio por ayuda de fosforo. El efecto de contrarresto es causado por la precipitación de los fosfatos de calcio menos solubles en la proximidad de las raíces (Svend Tage, 2009).

Udai (2004) reporta que un estudio realizado en un cultivar de soja *Glycinemax*, al realizar una aplicación de Ca y P suplementario a la fertilización tradicional mejoró significativamente el rendimiento y la calidad. La aplicación de 100 kg de Ca ha⁻¹ aumentó significativamente el índice de cosecha, rendimiento y calidad de las semillas. La aplicación de 90 kg de P ha⁻¹ aumentó significativamente el número de vainas por planta y rendimiento de semilla, en comparación de la fertilización tradicional.

Murphy (2005) reportó que cuando se utilizó P suplementario en varias especies como el maíz (*Zea maíz*), Soja (*Glicinemax*) y granos secos. En condiciones de deficiencia de micronutrientes, la intensificación de la deficiencia se intensificó, además de al estar acompañada por una disminución en la concentración y absorción de P. Esto es uno de los problemas más típicos en la fertilización a los diferentes cultivos en condiciones de campo abierto y con diferentes tipos de suelo, donde intervienen factores del suelo y el ambiente que complican la absorción y disponibilidad de los nutrientes para las plantas, lo cual en el sistema aeropónico es más fácil de controlar y tener una mayor eficiencia en cuanto a la aplicación y absorción de nutrientes por parte de la planta.

Un estudio muestra que la absorción y translocación de Mg y Ca, se ven afectadas por la adición de P, según reporta Reinbott (2006), en el cultivo de calabaza *Cucúrbita pepo* L. A las seis semanas de cultivo, fueron tratados con niveles más altos de P de los recomendados, lo cual dio como resultando el aumento en la concentración en xilema y en el flujo total de Ca y Mg. Proporcionando un aumento en la calidad y frutos de mayor calidad. Estos resultados pueden tener una semejanza con el presente trabajo en cuanto al aumento de un nutrimento y el efecto positivo del aumento en absorción de otros nutrimentos, así como también el aumento en el rendimiento en las plantas cultivadas.

Por otra parte, el balance nutrimental de las plantas es muy importante. En un estudio de la marchitez, causada por *Verticillium dahliae*, una de las enfermedades más importantes de pepino, la gravedad de esta enfermedad puede ser disminuido

por el manejo de la nutrición de la planta, especialmente los niveles de N, P y Ca. La presencia de N, P, y Ca aumentó el porcentaje de plantas vivas en comparación con el control agua destilada + hongo (Roustae, 2007), lo cual hace una referencia con nuestro mejor tratamiento Ca + P para ayudar al balance nutricional de la planta e inducir cierta resistencia a enfermedades.

Según (Álvarez-Sánchez, 2008), el cultivo de papa generalmente requiere grandes cantidades de fertilizantes de fósforo para alcanzar rendimientos económicamente aceptables, esto es una consecuencia de plantas con baja densidad de raíz. Situación que no se presentó en este experimento ya que la masa radicular tuvo un crecimiento y desarrollo favorable, así como también la generación de abundantes estolones que permitió la disminución y el ahorro de fertilizantes, además del incremento del rendimiento en la producción de mini tubérculos.

Por otro lado con la implementación de este sistema aeropónico se está ahorrando la cantidad de agua y fertilizantes utilizados para la producción de semillas de papa a campo abierto en suelos no contaminados. Según Vance *et al.* (2003). El P constituye después de nitrógeno el segundo nutriente más limitado para el crecimiento y desarrollo vegetativo, sin embargo, la cantidad de fósforo es abundante, pero rara vez está disponible, sólo alrededor del 10% al 45% del nutriente es absorbido por los cultivos (Adesemoye y Kloeppel, 2009) y alrededor del 80% del P se encuentra en formas que no están disponibles para las plantas (Holford, 1997).

El desarrollo de nuevos cultivares con mayor eficiencia en el uso de nutrientes, junto con las mejores prácticas de aplicación o absorción, ayudará a desarrollar sistemas agrícolas sostenibles y eficientes para agricultores de escasos recursos (Fageria *et al.*, 2010). Una de estas prácticas eficientes en la utilización de insumos es la implementación y el uso eficiente del sistema aeropónico.

6. CONCLUSIÓN

En cuanto a las variables evaluadas los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento con la suplementación de Ca + P juntos, lo cual puede atribuirse al Ca un mayor desarrollo de masa radicular, y con ello un mayor número de estolones lo cual ayudado con la suplementación de P se logró obtener un mayor número de tubérculos por planta.

7. BIBLIOGRAFÍA

Brown, P. y Hu, H. 1999. Funciones del Fosforo en las Plantas. *Informaciones Agronómicas* 83:9–10.

Castillo, R. C. 2001. La Hidroponía como Alternativa de Producción. La Hidroponía como Alternativa de Producción Vegetal. Revisado el día 20 de noviembre de 2016. (<http://chcastillo.tripod.com/hidroponia/nomitos.htm>.)

Comité Nacional Sistema Producto Papa (CONPAPA). 2013. Monografía del Sector Papa. 24. Revisado el 20 de noviembre de 2016. <http://conpapa.org.mx/files/pages/0000000018/ficha-tecnica-2013.pdf>

Farran, I. y Mingo, C. A. 2006. Potato Minituber Production Using Aeroponics: Effect of Plant Density y Harvesting Intervals. *American Journal of Potato Research* 83:47–53.

Guzmán D. G. A. 2004. Hidroponía en casa: una actividad familiar (No. F01 19). Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José (Costa Rica).

Barona D. 2013. Centro Internacional, Avenida La Molina, Investigaciones Agropecuarias. (10):15–16.

Centro Internacional, Avenida La Molina, e Investigaciones Agropecuarias. 2013. Darío Barona. 10:15–16.

Mejía, R., Méndez J., Pineda L., y Hernández S. 2013. Manual de Producción de Semilla de Papa Mediante Técnicas de Multiplicación Asexual. Revisado el 20 de noviembre del 2016. (www.pymerural.org/papa)

Montesdeoca, F. 2005. Guía para la Producción, Comercialización y uso de Semilla de Papa de Calidad. PNTR-INIAP-Proyecto Fortipapa, pp. 40.

Cakmak, I. 2014. Major Functions of Calcium y Magnesium. In: Crop Plants in World Fertilizer Congress. Vol. 16. 30-32 p.

Román, M. y Hurtado, G. 2002. Cultivo de la Papa. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). San Salvador, El Salvador. Pp. 9-14.

Rykaczewska, K. 2016. The Potato Minituber Production from Microtubers in Aeroponic Culture. *Plant Soil Environ*, 62: 210-214.

Wróbel, S. 2014. Assessment of Possibilities of Microtuber e in vitro Plantlet Seed Multiplication in Field Conditions. Part 1: PVY, PVM y PLRV Spreading. *American Journal of Potato Research*, 91: 554-565.

Fiers, M. y L. Alabouvette. 2012. Patata Enfermedades del Suelo. *Agronomía para el Desarrollo Sostenible* 32, 93 - 132.

Mateus-Rodriguez J.R. y J.L. Andrade-Piedra. 2013. El Análisis Técnico y Económico de Aeropònica y otros Sistemas de Producción de Papa Mini-tubérculos en América Latina. *American Journal of Potato Research* 90 , 357 - 68.

Urrestarazu, M. 2009. Aplicación de los Cultivos sin Suelo en Arquitectura. *Horticultura Internacional* 70:10-15.

Ritter y Nickols, 2005 *Technical y Economic Analysis of Aeroponics y other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America*.

Alonso A. F. 2002. *El cultivo de la Patata*. Ediciones Mundi prensa España 2ª Edición.

Bidwell, R.G 1990. *Fisiología Vegetal*. Editorial AGT. Mexico, D.F

Farran, I., y M. Mingo. 2006. Potato Minituber Production Using Aeroponics: Effect of Plant Density y Harvesting Intervals. *American Journal of Potato Research* 83 (1): 47–53.