



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

ORIGEN DE LA PLÁNTULA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE  
MINITUBÉRCULOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) BAJO UN  
SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN AEROPONÍA

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

LILIANA GERMÁN ORTEGA

Modalidad: Tesis individual

ASESORES:

Dr. MARTÍN RUBÍ ARRIAGA

Dra. DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ



CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO", EL CERRILLO  
PIEDRAS BLANCAS. TOLUCA. ESTADO DE MÉXICO  
OCTUBRE DE 2023

# ÍNDICE

	Página.
AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIAS .....	iii
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	xi
I.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. OBJETIVOS .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos particulares .....	3
1.2. HIPÓTESIS .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
Origen del cultivo .....	5
2.4. Técnica de aeroponía .....	6
2.5.1 Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH) .....	7
2.5.3. Brotes en sustrato .....	8
2.6. Técnicas de producción de manejo .....	8
2.6.1. Poda de raíz .....	8
2.6.2.1. Factores que regulan la solución nutritiva .....	10
Conductividad eléctrica (CE) .....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
3.1. Localización del experimento .....	13
Tratamiento 1. Plántula SAH .....	14
Tratamiento 2. Plántula SAH sin raíz .....	15
Tratamiento 3. Brotes burbujeo .....	17
Tratamiento 4. Brotes sustrato .....	19
Tratamiento 5. Brotes sustrato, sin raíz .....	20
3.5.2. Transplante de plántulas .....	22
3.5.3 Desarrollo de la planta .....	23
3.5.4. Nutrición .....	24
3.5.5. Cosecha de minitubérculos .....	26

3.7. Análisis estadístico.....	29
IV RESULTADOS .....	30
4.1. Análisis de varianza.....	30
Altura de plántula .....	31
Longitud de raíz.....	31
V.DISCUSIÓN.....	34
V CONCLUSIONES.....	39
X. RECOMENDACIONES .....	40
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	41

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página.</b>
1	Soluciones nutritivas usadas para la producción de semilla de papa en aeroponía.	9
2	Relación del aumento de la conductividad eléctrica con las etapas fenológicas.	25-26
3	Fechas del total de cosechas realizadas a lo largo de todo el ciclo.	26
4	Cuadros medios del análisis de varianza individual de las variables diámetro del tallo (DT), altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), total de mini tubérculos (TMT), tasa de multiplicación de minitubérculos 15 mm (TMMT).	30
5	. Comparación de medias entre tratamientos de las variables diámetro del tallo (DT), altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), total de mini tubérculos (TMT) y una tasa de multiplicación de minitubérculos 1 mm (TMMT).	33

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página.</b>
1	Filtros de arena.	11
2	Lámparas UV.	12
3	Plántulas SAH.	15
4	Raíz de plántulas SAH.	15
5	Limpieza de plántulas SAH.	15
6	Plántulas SAH sin raíz.	16
7	Plántula SAH sin raíz siendo trasplantada a módulo aeropónico.	16
8	Crecimiento de raíz en tratamiento 2.	17
9	Minitubérculos en el sistema de burbujeo.	18
10	Plántulas de brote minitubérculo en burbujeo.	18
11	Plántula de minitubérculo brotado.	19
12	Charola de plántulas listas para ser plantadas en el módulo aeropónico.	19
13	Minitubérculos en las camas de sustrato.	20
14	Plántulas de sustrato.	20
15	Camas para plántulas de sustrato.	21
16	Limpieza de plántulas en sustrato.	21
17	Plantas de brote sustrato que ya generaron raíz.	22

<b>18</b>	Plántulas en solución fungicida-bactericida- enraizador para ser desinfectadas y quedar listas para ser trasplantadas.	23
<b>19</b>	Charola de plántulas listas para ser plantadas en el módulo aeropónico.	23
<b>20</b>	Módulos aeropónicos con malla para tutoreo.	24
<b>21</b>	Plantas tutoradas.	24
<b>22</b>	Cosecha (T =1).	27
<b>23</b>	Cosecha (T =2).	27
<b>24</b>	Cosecha (T =3).	27
<b>25</b>	Cosecha (T =4).	27
<b>26</b>	Cosecha (T =5).	27
<b>27</b>	Medición de diámetro de tallo con vernier digital.	28
<b>28</b>	Vernier digital marca Truper.	28
<b>29</b>	Medición de altura de tallo.	29
<b>30</b>	Medición de largo de raíz.	29

---

## RESUMEN

### ORIGEN DE LA PLÁNTULA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MINITUBÉRCULOS DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) BAJO UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN AEROPONÍA

Liliana Germán Ortega<sup>1</sup>; Martín Rubí Arriaga <sup>1</sup>; Delfina de Jesús Pérez López <sup>1</sup>

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas Mpio. de Toluca, Méx. Código Postal 50200. Tel. (fax) 2-96-55-29 y 2-96-55-31. [mrubia@uaemex.mx](mailto:mrubia@uaemex.mx); [diperezl@aemex.mx](mailto:diperezl@aemex.mx).

El trabajo se realizó en las instalaciones de la empresa PRH Agroservicios S.A de R.L. Con el propósito de estudiar el efecto del origen de la plántula sobre la tasa de multiplicación y calibre de semilla en la producción de minitubérculos en la variedad Fianna bajo un sistema de producción aeropónico. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con ocho repeticiones y cinco tratamientos. T1= plántulas del Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH); T2= plántulas SAH con corte de raíz; T3= plántulas de brotes en sistema de burbujeo; T4= plántulas de brotes en sustrato y T5= plántulas de brotes en sustrato con corte de raíz. La unidad experimental fue de diez plántulas. Las variables registradas fueron longitud de raíz (LR), altura de planta (AP) y diámetro de tallo (AT) a los 60 días después de transplante, se realizaron diez cosechas y se cuantificó el total de minitubérculos (TMT) y se determinó la tasa de multiplicación (TMMT) de cada tratamiento. Se realizó análisis de varianza y una comparación de medias usando la DMS al 0.05 de probabilidad de error. El análisis de varianza para tratamientos mostro significancia estadística

( $p \leq 0.01$ ) en LR, AP, DT, TMT y TMMT. El T1 presentó la mayor TMMT (14.18) seguido de T3 (11.05).

**Palabras clave:** plántula, aeroponía, semilla, papa.

## ABSTRACT

Liliana Germán Ortega<sup>1</sup>; Martín Rubí Arriaga<sup>1</sup>; Delfina de Jesús Pérez López<sup>1</sup>

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas Mpio. De Toluca, Méx. Código Postal 50200. Tel. (fax) 2-96-55-29 y 2-96-55-31. [mrubia@uaemex.mx](mailto:mrubia@uaemex.mx); [djperezl@aemex.mx](mailto:djperezl@aemex.mx).

THE SEEDLING SOURCE ON THE MINITUBER PRODUCTION IN POTATO (*Solanum tuberosum* L.) UNDER AN AEROPONICS PRODUCTION SYSTEM.

The study was carried out in the facilities of the Enterprise PRH Agroservicios S.A.de R.L. Its purpose was to study the effect of the seedling source on the multiplication rate and the seed size on the production of mini tubers in the variety Fianna under an aeroponic production system, with eight replications and five treatments. T1= SAH Hydroponic autotrophic system seedlings; T2= SAH seedlings with **root cut**; T3= seedlings of buds in bubbling system; T4= seedlings of buds in substrate and T5= seed lings of buds in substrate with root cut. The experimental unit was ten seed lings. The registered variables were root length (LR), plant height (AP) and stem diameter (AT) at 60 days after transplant; harvest was carried out ten times and total number of Mini tubers (TMT) were quantified, and multiplication rate (TMMT) was determined for each treatment. Analysis of variance (ANOVA) was performed and comparison of means using least significant difference test (LSD) at the 5% level was used. ANOVA for treatments showed statistical significance ( $p \leq 0.01$ ) in LR, AP, DT, TMT y TMMT. El T1 presented the highest TMMT (14.18) followed by T3(11.05).

## I.INTRODUCCIÓN

La producción mundial de papa (*Solanum tuberosum* L.) en 2020 fue de 359 071 403 t, en una superficie cosechada de 16 494 810 ha con rendimiento promedio de 21 768 t. ha<sup>-1</sup>. México se encuentra en el lugar número 31 con una producción de más de un millón 943 910 toneladas en una superficie cosechada de 60 855 ha, con un rendimiento promedio de 31 943 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2020).

El Estado de México se encuentra en el lugar número cuatro, después de Sonora, Sinaloa y Puebla; con un volumen de producción de 169 573 t en una superficie cosechada de 5 762 ha y un rendimiento promedio de 29.42 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018).

Del total de producción en México, 29% es destinado para la industria de frituras, 56% para el mercado en fresco, y solo 15% es para la producción de semilla certificada (CONPAPA, 2020).

El uso semilla certificada es importante para obtener mayores rendimientos (Yara, 2017), se ha logrado incrementar de 30 a 50 %, en comparación con la semilla convencional (FAO, 2020).

La mayoría de los productores de papa en países en vías de desarrollo no usan semilla certificada debido a su alto costo (Otazú, 2009). Por lo que ofrecer nuevas alternativas de producción de semilla certificada ayudaría a tener mayor disponibilidad de semilla de calidad y económica para los productores.

La producción de minitubérculo de papa mediante sistema aeropónico garantiza la sanidad en la semilla, además de tener un mayor rendimiento y rentabilidad que en

el sistema convencional. Esta técnica se ha convertido en una excelente opción para la producción de minitubérculo-semilla sin necesidad de suelo y con mayor cantidad de minitubérculos en menor superficie. Ya que la aeroponía tiene la facilidad de cosechar los tubérculos cuando alcanzan el tamaño deseado, durante varios meses en la misma planta (Nichols, 2009).

Para hacer más rentable esta técnica de producción resulta importante considerar diferentes factores, uno de ellos es el origen de la plántula; existen diferentes maneras de obtenerlas, como son; SAH (Sistema Autotrófico Hidropónico), brotes en burbujeo y brotes obtenidos de sustrato (Castillo, 2004) y la empresa PRH Agroservicios dedicada a la producción de minitubérculos de papa, está investigando la respuesta de la plántulas provenientes de diferente origen (SAH. Minituberculos brotados en un sistema de burbujeo y minituberculos brotados en sustrato) para obtener una mayor tasa de multiplicación. Por lo que los objetivos de la presente investigación son los siguientes.

## 1.1. OBJETIVOS

### **Objetivo general**

Estudiar el efecto de cinco tipos de origen de plántula; sobre la tasa de multiplicación y calibre de minitubérculos-semilla en papa bajo un sistema de producción aeropónico.

### **Objetivos particulares**

Determinar la tasa de multiplicación y calibre de semilla de variedad Fianna obtenida por plántulas SAH; plántulas SAH sin raíz; plántulas de brotes en sistema de burbujeo, plántulas de brote en sustrato; plántulas de brotes en sustrato sin raíz, bajo un sistema de producción aeropónico.

Seleccionar el mejor tratamiento para la producción de minitubérculos de mayor tamaño y calidad fitosanitaria.

## **1.2. HIPÓTESIS**

El origen de la plántula ejerce un efecto significativo sobre la tasa de multiplicación y calibre de semilla de papa variedad Fianna, bajo un sistema de producción aeropónico.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen del cultivo

De acuerdo a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2017), *Solanum tuberosum* se domesticó en Sudamérica, específicamente en Bolivia, entre los lagos Titicaca y Poopó hace unos 10 a 7 mil años. Aunque los primeros vestigios encontrados al sur de Lima, Perú, datan de hace 10 500 años. Y aunque existe controversia y opiniones muy diversas en cuanto al origen de la papa, sin duda se estima que el altiplano peruano-boliviano es el centro de origen de este importante cultivo. Pero fue en los Andes centrales de lago Titica donde los agricultores seleccionaron y mejoraron esta especie. (FAO, 2008).

### 2.2. Distribución

El centro primario de diversificación corresponde la zona andina que va desde Colombia, atravesando Ecuador, Perú y Bolivia, hasta la parte norte de Chile y Argentina. Los centros secundarios de diversificación corresponden a Mesoamérica (Sur de México, Guatemala, El Salvador, partes occidentales de Honduras, Nicaragua y parte noroeste de Costa Rica), Venezuela y porción sur de Chile (CONABIO, 2020).

### 2.3. Características de la variedad Fianna

Es de origen holandés, la cobertura del follaje es de media a alta, la flor es de color blanca y brote azul, los tubérculos son grandes, alargados y ovalados, de pulpa amarilla clara, cutícula amarilla, es de ciclo intermedio y con un potencial de rendimiento de 40 a 60 t ha<sup>-1</sup>. Presenta materia seca de 0.99. Su consumo es en

fresco y la industria (chips). Es resistente a PLRV (virus del enrollamiento de la hoja de papa) y sarna común (*Streptomyces scabies*). Es tolerante a tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary) y al Virus PVY (mosaico severo de la papa) (SNICS, 2009).

#### **2.4. Técnica de aeroponía**

En la técnica de aeroponía, las raíces de las plantas crecen suspendidas en el aire, dentro de cajones cerrados (también llamados módulos) y son alimentadas con solución nutritiva, que es nebulizada y se puede volver a utilizar la solución ( Farran y Mingol, 2006). Con este sistema de producción se logra mejorar el rendimiento y disminuir los costos de producción. La tuberización y el desarrollo del sistema radicular aumentan por el mayor espacio disponible y el ambiente óptimo para su desarrollo (balance de aire y humedad) y a su vez; permite aprovechar mejor el espacio vertical del invernadero, se cosechan solo los tubérculos del tamaño y peso deseado y, lo más importante, se obtiene buena calidad fitosanitaria de los minitubérculos (Centro Internacional de la Papa, 2007).

La técnica utiliza plantas *in vitro* o esquejes enraizados. Estas plantas se desarrollan y después de un manejo, como son, podas y tutorado, son cosechados los minitubérculos en varias ocasiones (entre 3 y 12 veces dependiendo de la variedad) y logrando una producción que pueden superar los 3 000 minitubérculos por m<sup>2</sup>, en un ciclo de cultivo (Otazú, 2015).

#### **2.5. Origen de plántula**

Es uno de los elementos más importantes en la producción y calidad de la semilla - tubérculo y por lo tanto del rendimiento. (OASIS® EASY PLANT®, 2017), se recomienda utilizar plántulas *in vitro*, sanas y en óptimo estado fisiológico. Si no es posible tener plántulas *in vitro*, se pueden usar minitubérculos o esquejes de tallo. Tsoka *et al.* (2012), mencionan que existe correlación positiva entre plantas *in vitro* y el sistema aeropónico que usando esquejes de tallos.

Existen instituciones que tienen la capacidad de producir plántulas vigorosas mediante la multiplicación *in vitro*. Pero a su vez están aquellas que dependen de otras, generalmente reciben plantas de mala calidad, con menor vigor, además del tiempo transcurrido en llegar a su lugar de destino y ser llevadas a trasplante, influyen de forma negativa en los índices de producción final.

#### **2.5.1 Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH)**

Con este método, se acelera la producción de plántulas, con el cual se obtienen plántulas autotróficas con capacidad de adaptarse mejor a las condiciones de invernadero (Gavilán *et al.*, 2020) con una cantidad significativa de raíz nueva.

#### **2.5.2. Brotes en burbujeo**

Refiere a un sistema hidropónico, recirculante con aireación de la solución nutritiva. Obteniendo plántulas de buena calidad, debido a que la oxigenación adecuada ayuda a mejor absorción del agua y nutrimentos, con buen sistema radicular y grosor de tallo (Martínez *et al.*, 2012).

### **2.5.3. Brotes en sustrato**

La producción de plántulas en sustrato provee de soporte físico las camas donde son puestos a germinar los minitubérculos en sustrato, se les proporciona aire, agua y nutrimentos para que las raíces funcionen adecuadamente (Bracho et al., 2009).

## **2.6. Técnicas de producción de manejo**

### **2.6.1. Poda de raíz**

Existen algunas investigaciones que abordan el efecto que se tiene al podar la raíz., Castro et al., 2007 señalan que puede ser una manera de aumentar la vida útil al momento de ser trasplantadas. En un experimento realizado en un vivero con árboles jóvenes de *Pinus greggii*, la poda de raíz aumento el crecimiento de las plantas, el diámetro, altura y número de raíces secundarias (Barajas et al., 2004).

### **2.6.2. Solución nutritiva**

En el Cuadro 1 se muestran dos soluciones nutritivas que pueden ser utilizadas en aeroponía. OASIS® EASY PLANT® (2017), refiere que la solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, dependiendo del cultivo y etapa fenológica de la planta varia la proporción.

**Cuadro 1. Soluciones nutritivas usadas en papa por aeroponía**

Ferran		Otazú	
Nutrientes	Concentración	Nutrientes	Concentración
KNO3	0.4 me/l	KNO3	5.40 me/l
Ca (NO3) 2	3.1 me/l	NH4NO3	4.40 me/l
NH4NO4	4.4 me/l	Superfosfato de Ca	2.60 me/l
KH2PO4	4.4 me/l	MgSO4	1.00 me/l
MgSO4	1.5 me/l	Fe	8 ppm
		B (ácido bórico)	1ppm
	pH 5.7	Micro	12 ppm
			pH 6.5

**Fuente: Otazú (2009).**

### **2.6.2.1. Factores que regulan la solución nutritiva**

#### **Conductividad eléctrica (CE)**

Se refiere a una medida indirecta para saber la concentración de sales que se encuentran en el agua. La CE de la solución nutritiva afecta la absorción de nutrimentos por las plantas, el crecimiento vegetativo, el rendimiento y calidad de los minitubérculos (Chang et al., 2011). A través de esta medida, se puede saber si se están aplicando los nutrimentos suficientes en la solución nutritiva y si estos están siendo asimilados. Cuantifica la concentración de aniones (nitratos, fosfatos, sulfatos) o cationes (magnesio, potasio, calcio). La lectura de CE se realiza con un potenciómetro (OASIS® EASY PLANT®. 2017).

#### **pH**

Con la medida de pH se puede conocer la acidez o alcalinidad del medio y se puede saber si los nutrimentos están o no disponibles para la absorción. Por tal motivo cuando el pH no se encuentra en el rango óptimo existen problemas nutritivos. Existe un rango óptimo para que los elementos nutritivos funcionen correctamente, que es de 5.5 a 6.5. Si se encuentra deficiente o elevado de este nivel puede que ocurran reacciones que formen compuestos insolubles que se precipitan (Cremona y Enríquez, 2020).

### **2.6.3. Sistema de riego**

Al ser un sistema de riego recirculante, es decir que se utiliza la misma agua para realizar los riegos, al pasar por todo el sistema, puede llevar consigo hongos o

bacterias que afecten a la planta, por ello es necesario un sistema de desinfección del agua.

### **2.6.3.1. Sistema de desinfección**

En la Figura 1 se muestran los filtros de arena y en la Figura 2 las lámparas ultravioletas. La energía ultravioleta (UV) modifica el material genético ADN y ARN al ser absorbidas por las células de los microorganismos (hongos, bacterias) principalmente, de forma que les impide reproducirse, lo que disminuye riesgos de enfermedades en la planta. Además de ser un proceso físico, donde no se utiliza ningún químico lo hace más amigable con el ambiente y el ser humano (Véliz, 2015).



Figuras 1. Filtros de arena para la desinfección del agua de riego.



Figura 2. Lámparas UV para la desinfección del agua de riego.

### **2.6.3.2. Automatización**

Para la automatización del sistema de riego se utilizó un PLC (programador lógico controlado), el cual tiene infinidad de entradas y salidas digitales y analógicas que son captadas por algún elemento eléctrico, ya sea un sensor o transductor para ser enviada y procesada por el controlador (Álvarez, 2017).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del experimento**

El trabajo se realizó en un invernadero de la empresa PRH Agroservicios SPR de RL ubicada en Avenida Gobernadores municipio de Metepec, Estado de México. Con las coordenadas Longitud: O 99°36'6.3" y Latitud: N19°15'33.62" y una altitud de 2 623. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 7 °C a 27 °C y rara vez se observan temperaturas menores a 4 °C o mayores a 31 °C.

#### **3.2. Material vegetativo**

Se utilizaron plántulas de la variedad Fianna, material prenuclear prebásica I. Esto de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-041 FITO- 2022.

#### **3.3. Diseño de tratamientos**

Los cinco tratamientos se conformaron de la siguiente manera: T1= plántulas SAH; T2= plántulas SAH con corte de raíz; T3= plántulas de brotes en sistema de burbujeo; T4= plántulas de brotes en sustrato y T5= plántulas de brotes en sustrato con corte de raíz.

#### **3.4. Diseño experimental y la unidad experimental**

El trabajo se estableció en un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y ocho repeticiones. La unidad experimental quedo conformada con diez plántulas.

### 3.5. Establecimiento del experimento

Cada tratamiento se sembró en un módulo diferente, cada uno con capacidad de 112 plántulas, solo se tomaron en cuenta 80 plántulas del centro del módulo, las restantes se consideraron como borde de protección. Esta actividad se realizó el arco 6, nave 2, el 27 de agosto de 2021

El sistema de riego fue recirculante con filtros de agua ultravioleta (UV), automatizado controlado por un PLC (Control Lógico Programable) para nebulizar determinado tiempo.

Comentado [RRR1]: Hay marca, modelo, país de origen?

Antes de la siembra se desinfecto el ground cover y los módulos aeropónicos con ayuda de agua y sales cuaternarias de amonio, se colocaron trampas amarillas en la estructura de los módulos aeropónicos (12 trampas por nave).

#### 3.5.1. Preparación de los tratamientos

##### Tratamiento 1. Plántula SAH

Se compraron las plantas a la empresa Agrícola meristemo ubicada en Zinacantepec, Estado de México; con 20 días de aclimatización en sustrato, después del método *invitro*, siendo la primera generación de plántulas. Estas venían en contenedores (domos) de plástico cada uno con aproximadamente 40 plántulas. Se sacaron cuidadosamente del contenedor quedando como se observa en la Figura 3 para retirarle el sustrato a una por una de las plántulas, dejando la raíz desnuda tal y como se aprecia en las Figuras 4 y 5.



Figura 3. Plántulas SAH.



Figura 4. Raíz de plántulas SAH.



Figura 5. Limpieza de plántulas SAH.

### **Tratamiento 2. Plántula SAH sin raíz**

Para la obtención de este origen de plántula se utilizaron del mismo lote de plántulas compradas a la empresa Agrícola meristemo del tratamiento anterior, en este caso se evita limpiar el sustrato debido a que a estas se les hizo el corte de la raíz con tijeras previamente esterilizadas quedando como las plántulas que podemos ver en la Figura 6.



Figura 6. Plántulas SAH sin raíz.

En la Figura 7 muestra la plántula de origen SAH con poda de raíz para ser pasada a módulo aeropónico, a su vez en la Figura 8 se aprecia el desarrollo radicular de esta misma pasada una semana de ser trasplantada.



Figura 7. Plántula SAH sin raíz siendo trasplantada a módulo aeropónico.



Figura 8. Crecimiento de raíz en tratamiento 2.

### **Tratamiento 3. Brotes burbujeo**

Para este tratamiento se utilizaron minitubérculos calibre 15 - 20 mm, con detalles estéticos que no les permiten utilizar para su comercialización. Estos fueron desinfectados previamente con una solución que contenía fungicida-bactericida, para después ser colocados en un contenedor metálico con sistema de hidroponía, como se aprecia en la Figura 9, este a su vez con camas de agua corriente, utilizando mangueras difusoras de oxígeno (normalmente utilizadas en peceras) serpenteantes en toda esta.

En la Figura 10 se puede observar que se colocaron lámparas led de color blanco y azul para buen desarrollo de follaje, manteniendo una temperatura promedio de 18 °C.

Durante el desarrollo a partir de la segunda semana se le agregó solución Steiner al 0.5, haciendo aplicaciones una vez por semana de fungicida- bactericida e insecticida de forma preventiva, así como una aplicación foliar de aminoácidos.

Todo esto con el fin de obtener un brote de mejor calidad y sanidad como se muestra en la Figura 11. El tiempo promedio de brotación en este sistema fue de 20 días. Para poder ser llevadas al módulo aeropónico tal y como se observa en la Figura 12.



Figura 9. Minitubérculos en el sistema de burbujeo.



Figura 10. Plántulas de brote minitubérculo en burbujeo.



Figura 11. Plántula de minitubérculo brotado.



Figura 12. Plántulas de brote burbujeo en módulo aeropónico.

#### **Tratamiento 4. Brotes sustrato**

En un invernadero se establecieron camas con sustrato (perlita grado hortícola – turba) esterilizado que corresponden al tratamiento 4 como se observa en la Figura 13, sembrando en estas minitubérculos con las mismas características que las utilizadas en el sistema de burbujeo.

Estos minitubérculos fueron sumergidos en una solución de fungicida-bactericida durante un tiempo de 10 minutos, para después ser llevados a las camas de sustrato. Las camas se regaron diario para mantener la humedad, además de aplicar solución Steiner al 0.5 CE.

El tiempo transcurrido desde siembra hasta que las plantas tuvieron las características necesarias como se muestran en la Figura 14 para ser llevadas a los módulos aeropónicos fue de dos semanas y media aproximadamente.



Figura 13. Minitubérculos en las camas de sustrato. Figura 14. Plántulas de sustrato.

#### **Tratamiento 5. Brotes sustrato, sin raíz**

Las plántulas de origen brotes sustrato son las mismas que se utilizaron en el tratamiento 4 como se observan en la Figura 15 las camas donde se pusieron a brotar estos minitubérculos, estas solo con una diferencia ya que a estas se les hizo el corte de raíz, así evitando la limpieza del sustrato proceso que se muestra en la Figura 16, esto con el principal objetivo de ahorrar tiempo para llevar las plántulas al módulo aeropónico.



Figura 15. Camas para plántulas de sustrato.



Figura 16. Limpieza de plántulas en sustrato.

Además, se intentó probar si existe algún estímulo de crecimiento fisiológico en las plántulas al realizar esta poda. En la Figura 17 se observa el crecimiento radicular

que se generó en una semana después de la poda de raíz que se refiere al mismo día que fueron llevadas al módulo aeropónico estas plántulas.



Figura 17. Plantas de brote sustrato que ya generaron raíz.

### 3.5.2. Transplante de plántulas

Después de obtener cada una de las plántulas, se llevaron al invernadero donde fueron sometidas a un proceso de desinfección pasándolas por una solución conformada por fungicida-bactericida y enraizador donde estuvieron cinco minutos, como se observa en la Figura 18. Después de pasar por este tratamiento quedaron listas para ser trasplantadas a los módulos aeropónicos. Se colocaron en una base de plástico diseñada con el tamaño adecuado de los orificios de los módulos y así mantener a las plantas en buena posición, evitando que estas resbalen y caigan dentro del módulo, lo que provocaría la pérdida de plántula.



Figura 18. Plántulas en solución fungicida-bactericida- enraizador para ser desinfectadas y quedar listas para ser trasplantadas.



Figura 19. Charola de plántulas listas para ser plantadas en el módulo aeropónico.

### 3.5.3 Desarrollo de la planta

En esta etapa de la planta se hizo un aporque a los 45 días después del trasplante, poniendo malla y al mismo tiempo tutorar cada una de las plantas, como se muestra en las figuras 20 y 21.



Figura 20. Módulos aeropónicos con malla para tutoreo. Figura 21. Plantas tutoradas.

#### 3.5.4. Nutrición

Desde el inicio del ciclo hasta el final se hizo un monitoreo diario de los niveles de pH y conductividad eléctrica (CE). Manteniéndolos siempre dentro del rango correspondiente a la etapa fenológica del cultivo. En este trabajo se tomaron muestras diariamente del agua de la solución nutritiva para medir y registrar este dato con un potenciómetro.

Se utilizó solución Ferrán ajustándola de acuerdo a la etapa fenológica en que se encontraba la planta. Los primeros cinco días después del trasplante solo se regaron con agua corriente, después de ello se continuó con la aplicación de la solución nutritiva empezando por 0.5 CE, aumentándola de acuerdo a los requerimientos para el buen desarrollo de la planta, hasta llegar a 2.0 CE en la etapa de cosecha.

En el Cuadro 2 se indica el desarrollo de la planta de acuerdo a semanas y fechas, así como el aumento de la conductividad eléctrica relacionado con la etapa fenológica correspondiente.

**Cuadro 2. Relación del aumento de la CE con las etapas fenológicas.**

<b>Semana</b>	<b>Fecha</b>	<b>C.E</b>	<b>Etapas fenológica</b>
1	27/Agosto/2021.	Día 1-5 agua	Adaptación a módulos aeropónicos.
2	03/Septiembre/2021	0.5	Vegetativa
3	10/Septiembre/2021.	0.8	Vegetativa
4	17/Septiembre/2021.	1.0	Vegetativa
5	24/Septiembre/2021.	1.0	Vegetativa
6	01/Octubre/2021.	1.2	Inicio de tuberización
7	08/Octubre/2021.	1.2	Tuberización
8	15/Octubre/2021.	1.5	Llenado de minitubérculo
9	22/Octubre/2021.	1.5	Llenado de minitubérculo
10	29/Octubre/2021.	1.7	Llenado de minitubérculo
11	05/Noviembre/2021.	1.8	Llenado/cosecha
12	12/Noviembre/2021.	2.0	Cosecha
13	19/Noviembre/2021.	2.0	Cosecha
14	26/Noviembre/2021.	2.0	Cosecha
15	03/Diciembre/2021.	2.0	Cosecha
16	10/Diciembre/2021.	2.0	Cosecha

<b>17</b>	17/Diciembre/2021.	2.0	Cosecha
<b>18</b>	24/Diciembre/2021.	2.0	Cosecha
<b>19</b>	31/Diciembre/2021.	2.0	Cosecha
<b>20</b>	07/Enero/2022.	2.0	Cosecha

### 3.5.5. Cosecha de minitubérculos

La cosecha inicio a la madurez fisiológica del cultivo, el día miércoles 04 de noviembre del 2021, y así sucesivamente los miércoles de cada semana, hasta obtener un total de 10 cosechas (Cuadro 3). Solo se cosecho minitubérculos de 15 mm de diámetro.

**Cuadro 3. Fechas del total de cosechas realizadas a lo largo de todo el ciclo.**

<b>Cosecha</b>	<b>Fecha</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Fecha</b>
<b>1</b>	04/Noviembre/2021.	<b>6</b>	08/Diciembre/2021.
<b>2</b>	10/Noviembre/2021.	<b>7</b>	15/Diciembre/2021
<b>3</b>	17/Noviembre/2021.	<b>8</b>	22/Diciembre/2021.
<b>4</b>	24/Noviembre/2021.	<b>9</b>	29/Diciembre/2021
<b>5</b>	01/Diciembre/2021.	<b>10</b>	05/Enero/2022.

En las figuras 22, 23, 24, 25 y 26 que se muestran a continuación se pueden ver los minitubérculos cosechados de cada uno de los tratamientos, correspondientes a la cosecha número seis.



Figura 22. Cosecha (T=1).



Figura 23. Cosecha (T=2).



Figura 24. Cosecha (T=3).



Figura 25. Cosecha (T=4).



Figura 26. Cosecha (T=5).

### 3.6. Variables registradas

Se registraron diez plantas por repetición para cada variable a los 60 días: el diámetro de tallo (DT) se midió con un vernier digital (Figura 26), la longitud de raíz (LR, **cm o mm**) y altura de planta (AP, cm) se midieron con un flexómetro. Para las variables de post cosecha se realizaron diez cosechas y se registró el total del número de tubérculos cosechados y la tasa de multiplicación se contabilizó solo los minitubérculos con calibre 15 mm.

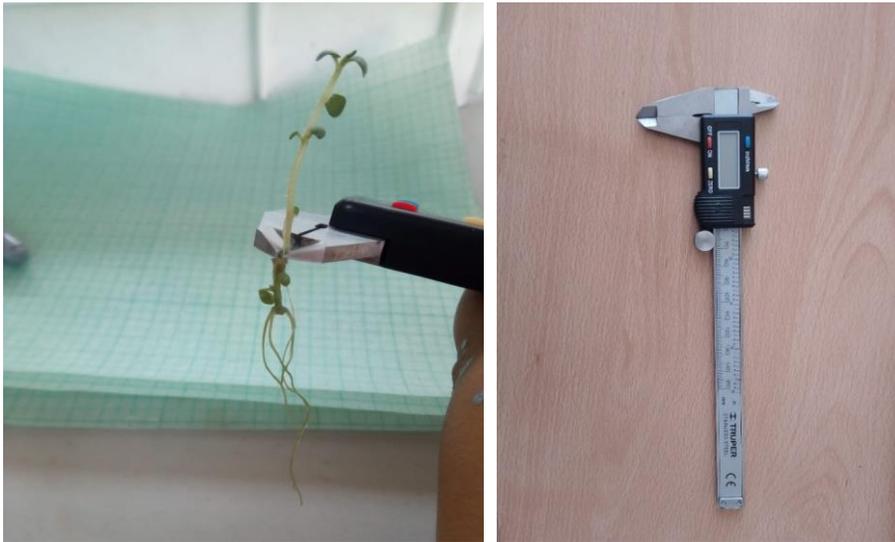


Figura 27. Medición de diámetro de tallo con vernier digital. Figura 28. Vernier digital marca Truper.



Figura 29. Medición de altura de tallo.



Figura 30. Medición de largo de raíz.

### 3.7. Análisis estadístico

Se codificó la información de las variables registradas y se realizó un análisis de varianza simple y si la prueba de F detectó diferencias estadísticas se aplicó la prueba de comparación de medias de la diferencia mínima significativa ( $DMS=0.05$ ).

## IV RESULTADOS

### 4.1. Análisis de varianza

En el Cuadro 4 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza simple y hubo diferencias altamente significativas ( $P= 01$ ) en diámetro del tallo (DT), altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), total de mini tubérculos (TMT) y la tasa de multiplicación de minitubérculos de 15 mm (TMMT).

Cuadro 4. Cuadros medios del análisis de varianza individual de las variables diámetro del tallo (DT), altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), total de mini tubérculos (TMT), tasa de multiplicación de minitubérculos 15 mm (TMMT).

F.V.	gl	DT (cm)	AP (cm)	LR (cm)	TMT	TMMT
Repeticiones	7	0.01	4.27	26.31	537.14	3.87
Tratamientos	4	0.56**	80.06**	114.66**	8573.75.**	88.68**
Error	28	0.07	8.27	17.09	1130.01	9.31
Total	39					
C.V.		7.13	9.35	7.36	34.95	30.73

F.V.= Fuente de variación; \*\*= significativo al 0.01; \* significativo al 0.05. C.V.=

Coficiente de variación

## **4.2. Comparación de medias**

### **Diámetro del tallo**

El tratamiento 3 con los brotes obtenidos del sistema de burbujeo obtuvo mayor diámetro de tallo con un promedio de 4.15 mm, pero fue igual al tratamiento 1 donde se usaron plántulas SAH, estos dos tratamientos difieren significativamente de T2, T4 y T5. Es importante mencionar que no hubo una respuesta favorable con el T5 que refiere a las plántulas de sustrato a las que se les realizó poda de raíz, ya que hubo una reducción del grosor del tallo de un 17 % (Cuadro 5).

### **Altura de plántula**

El tratamiento 3 conformado por las plántulas obtenidas del sistema burbujeo difirió significativamente de T1, T2, T4 y T5 con una altura de planta de 34.64 cm, la menor altura (26.29 cm) se presentó en el T4 que son plántulas de sustrato, donde hubo una reducción de un 25% (Cuadro 5).

Si se relacionan las dos variables AP y DT, los mejores resultados se obtienen en las plántulas obtenidas por el método de burbujeo (T3), lo que permite establecer que para parámetros de crecimiento este método de obtención de plántulas se perfila con características de alto interés para la propagación de plántulas orientadas para producción de minitubérculos de papa como un medio para obtener semilla de papa por el método de aeroponía.

### **Longitud de raíz**

La longitud de raíz es fundamental en el desarrollo de cualquier planta, la presencia

de un buen sistema radicular es primordial en la producción de estolones y por lo tanto de minitubérculos de buena calidad. En el Cuadro 5 Se muestra la longitud de raíz en donde las plántulas obtenidas mediante el sistema burbujeo (T3), presentaron el valor promedio más largo con un valor 61.89 cm, y difiriendo significativamente de T1, T2, T4 y T5. Estos resultados tienen relevancia para los objetivos que el trabajo persigue, que es determinar qué tipo de plántulas genera mayor cantidad de minitubérculos para semilla, donde T3 presentó un 16% más de longitud de raíz, es decir una raíz 10 cm mayor que T5 que son aquellas brotadas en sustrato a las que se les realizó poda de raíz.

#### **Total de minitubérculos**

El T1 que son plántulas obtenidas mediante el método SAH y obtuvo un promedio total de 141.75 minitubérculos, seguido del T3 que son plántulas obtenidas del sistema burbujeo con 110.50 minitubérculos, estos dos tratamientos fueron estadísticamente iguales, sin embargo, T1 produjo 30 tubérculos más que los obtenidos por T3. Esto sugiere que T1 y T3 son una opción para producir minitubérculo semilla. T2, T4 y T5 presentaron una baja producción de minitubérculos. Esto indica que estos tratamientos tienen con pocas posibilidades de utilizarse para producción de semilla.

#### **Taza de multiplicación de minitubérculos**

El tratamiento 1 con plántulas SAH obtuvo mayor tasa de multiplicación con 14.18 minitubérculos seguido de T3 con plántulas obtenidas del sistema burbujeo con 11.05 minitubérculos y difirieron estadísticamente de T2, T4 y T5 (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Comparación de medias entre tratamientos de las variables diámetro del tallo (DT), altura de planta (AP), longitud de raíz (LR), total de mini tubérculos (TMT) y una taza de multiplicación de minitubérculos 1 mm (TMMT).

TRA	DT (cm)	AT (cm)	LR (cm)	TMT	TMMT
T1	3.97ab	29.71bc	53.48 bc	141.75	14.18 a
T2	3.77 b	31.51 b	57.31 b	94.73 b	11.03 b
T3	4.15 a	34.64 a	61.89 a	110.50 ab	11.05 b
T4	3.80 b	26.29 d	56.05 bc	79.25 bc	7.93 bc
T5	3.44 c	28.44 cd	52.17 c	54.75 c	5.48 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## V.DISCUSIÓN

AlShrouf en el 2017 refiere que la aeroponía puede reducir hasta 98 % el uso de agua, 60 % en el uso de fertilizante y 60 % el uso de pesticidas. Además de que con el sistema de nebulización y suspendido se puede obtener una mejor absorción de nutrientes.

De acuerdo con los resultados obtenidos el T3 refleja diferencia significativa para longitud de raíz, diámetro sobre los demás tratamientos, permite establecer que este resultó el mejor método para la obtención de plántulas con fines de producción de minitubérculos. Aunque tomando en cuenta nuestro objetivo principal es la producción en cantidad de minitubérculos, el tratamiento 1 es mejor, este con una tasa de multiplicación de 14 minitubérculos.

Un estudio de Avilés en 2019 sobre un método de propagación autotrófica, establece que el sistema SAH (Tratamiento 1) es una opción práctica y de bajo costo para producción de plántulas de papa, pues en ninguno de los tratamientos evaluados se observó algún tipo de contaminación ni mortandad. Comparado con este trabajo de investigación coincide en que las plántulas tenían un aspecto robusto con hojas anchas y con 20 días de desarrollo para ser trasplantadas al invernadero. Además, los contenedores pueden ser trasladados al invernadero unos días antes del trasplante para obtener una adaptación de las plántulas sin que se contaminen por bacterias y hongos en el sustrato.

(Pérez et al., 2013), concuerdan con los resultados de este trabajo, al expresar que con el uso del sistema SAH se obtienen plántulas de mayor tamaño, estas tienen

un crecimiento uniforme, fisiológicamente sanas y con buen funcionamiento, además de tener una adaptación y crecimiento rápidos, existe un tiempo menor para obtener las plántulas. Al ser llevadas al invernadero se adaptan con facilidad, aumenta el rendimiento y el costo de producción es bajo.

En el tratamiento 3 de brotes en burbujeo, mostro mejor comportamiento de acuerdo con los resultados de las variables de longitud de raíz, diámetro y altura de planta. De acuerdo con Moreno et al. (2020) es importante que las raíces tengan disponibilidad de oxígeno para un desarrollo de las plantas, ya que es fundamental para los principales procesos metabólicos como son la reducción de nitratos, renovación de proteínas y la absorción de nutrientes por las raíces. Cuando se habla del sistema de burbujeo se hace referencia a un sistema hidropónico cerrado, quiere decir que la solución nutritiva está recirculando por lo tanto los niveles de conductividad eléctrica y pH se controlan y ajustan periódicamente, lo cual también lo hace tener un uso eficiente de agua y nutrientes, además de que en el sistema utilizado para este experimento se utilizaron mangueras de aire para tener mayor aireación dentro de los contenedores de la solución nutritiva, y así brindar más oxígeno a las raíces de las plantas, lo que estimula el crecimiento y previene el desarrollo de patógenos, y da como resultado una plántula de mejor calidad (AlShrouf, 2017).

Al igual Quenta (2020) menciona que cuando se tienen altos niveles de oxigenación se acelera el desarrollo y por lo tanto también se incrementan los rendimientos, todo esto debido a una mejora en los procesos anatómico-fisiológicos y fotosíntesis más eficiente. Al mismo tiempo dice que al tener una falta de oxígeno se favorece a la

degradación de raíces lo que es más fácil que suceda en el caso de las plántulas provenientes de minitubérculos brotados en sustrato, lo cual puede explicar los bajos resultados obtenidos en este tratamiento.

Flores et al. (2020) indican que el crecimiento de los minitubérculos en este caso se determina de acuerdo con las tasas de acumulación de biomasa en los órganos de cada planta, todo esto en combinación con un ambiente favorable para su desarrollo, un aproximado del 90% de los fotosintatos que producen las hojas se traslocan a los minitubérculos. Esto con relación a que en el tratamiento 3 de brotes en burbujeo se obtuvieron mejores resultados en diámetro de tallo, altura de planta, longitud de raíz que a su vez se refleja en una cosecha significativa por lo tanto una tasa de multiplicación mayor.

Para el caso de las plántulas en sustrato (T4), presentan un comportamiento similar de acuerdo con Roldan (2005) en donde utilizo sustratos en hortalizas, y reporto mayor precocidad y homogeneidad de las plántulas germinadas, además de que se tiene un manejo más eficiente de la semilla como insumo. Pero también menciona el alto costo de estos sustratos ya que la mayoría son importados.

En 2008, Andrade estudio el efecto de promotores de la germinación y sustratos en el desarrollo de plántulas de papayo donde utilizó plántulas de la mejor calidad tomando en cuenta los principales factores como es el riego, fertilización y control fitosanitario, además de una buena semilla. Menciona que el uso del sustrato adecuado principalmente en sus características físico-químicas para asegurar una buena aireación, disponibilidad de agua y nutrientes todo esto que afecta el buen funcionamiento de las raíces, por lo que relaciona el efecto del sustrato utilizado

sobre el desarrollo de las plántulas , para este experimento fue peat moss con agrolita, que en comparación con una evaluación de sustratos alternativos en la germinación y crecimiento inicial de *Hymenaea courbaril* L. en condiciones de vivero realizado en 2021 por Domínguez, donde menciona que este sustrato tiene beneficios físicos ya que su textura permite un buen desarrollo de la raíz al no compactarse con los riegos, pero no es una fuente de nutrimentos en comparación de otros sustratos orgánicos pero esto se puede equilibrar teniendo un buen control de riego y fertilización.

Las plántulas a las que se les corto la raíz tuvieron un menor desarrollo que fueron las plántulas SAH (Tratamiento 2) y las plántulas de sustrato (Tratamiento 5) a las para ser llevadas a la plantación en los módulos aeropónicos el principal objetivo era disminuir los tiempos y mano de obra, ya que el limpiado del sustrato de las raíces es laborioso y de cuidado, además de identificar si existía algún tipo de estimulación y así forzar a la plántula a obtener un mejor desarrollo fisiológico.

Castro, (2007) realizó un estudio de poda de raíces en plántulas de *Rheedia gardneriana* donde se buscó ver como incide la poda en el desarrollo radicular, el cual mostro un efecto negativo, viéndose afectada la reducción de la materia seca y de raíz. Así mismo en un estudio realizado en el género *Picea* se notó la reducción en la tasa fotosintética después de la poda de raíz (Alcalá, 2002).

Teniendo en cuenta estas investigaciones previas sobre la poda de raíz en diferentes cultivos, en este estudio se encontró que T2, T4 y T5 obtuvieron los valores más bajos en todas las características evaluadas. Con base en estos resultados podemos ver que el origen de la plántula si afecta en la producción de

minitubérculo y se puede concluir que no hubo efecto significativo en la poda de raíz.

## V CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten establecer que el origen de la plántula ejerce un efecto significativo en la producción de mini tubérculos en papa variedad Fiana con el propósito de obtener semilla certificada.

El Tratamiento 1 que corresponde a las plántulas de origen SAH obtuvo el mayor promedio total de tasa de multiplicación con 14.18 minitubérculos por planta, por lo cual podemos deducir que es la mejor alternativa de plántula para obtener un mayor número de minitubérculos.

El Tratamiento 3 como el mejor, en cuanto a todas las variables ya que además de obtener una cantidad significativa de minitubérculos por planta también tenemos que las cualidades fisiológicas de la planta son de mejor calidad, teniendo tallos con mayor grosor, de mayor longitud y una raíz más grande.

## **X. RECOMENDACIONES**

A pesar de que el Tratamiento 3 de plantas provenientes del sistema de burbujeo resulto ser el mejor tomando en cuenta todas las variables, también podemos decir que para la producción inicial es uno de los tratamientos de mayor costo económico, debido a todas las aplicaciones tecnológicas que el contenedor de brotación para los minitubérculos requiere. Sin dejar de lado que el principal objetivo fue la mayor tasa de multiplicación se tiene al Tratamiento 1 de plántulas obtenidas del sistema SAH donde no existió una diferencia entre la tasa de multiplicación con el tratamiento anterior por lo cual si no está en nuestro poder adquisitivo el uso del sistema de burbujeo la opción más recomendable es el tratamiento 1 con base a los resultados obtenidos.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- AlShrouf, A. 2017. Hydroponics, Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS). Disponible en: [https://asrjetsjournal.org/index.php/American\\_Scientific\\_Journal/article/view/2543/1028](https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/2543/1028)
- Álvarez, A. 2017. Tesis, Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador. Facultad de educación técnica para el desarrollo ingeniería electrónica en control y automatismo Disponible en: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/7733/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-57.pdf>
- Avilés, J. 2019. Multiplicación de semilla de papa por medio del Sistema Autotrófico Hidropónico (SAH). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) / Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Disponible en: <http://3.139.254.135/bitstream/handle/123456789/346/06%20MULTIPLICACION%20DE%20SEMILLA%20DE%20PAPA%20POR%20MEDIO%20SAH.pdf?sequence=1>
- Barajas, J., Aldrete, A., Vargas, J., López, J. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de pinus greggii. Agrociencia. Vol. 38. Colegio de Postgraduados Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30238509.pdf>
- Bracho, J., Francia, P., Quiroz, A. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. Bioagro. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Barquisimeto, Venezuela. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/857/85714162006.pdf>
- Castillo, A. 2004. Propagación de plantas por cultivo *in vitro*: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo. Unidad de Biotecnología. INIA Las Brujas. Uruguay. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/410/1/111219220807102417.pdf>
- Castro, A., Hirano, E., Portela, O., Vosgerau, J.L., Nogueira, A.C. 2007. Root pruning in rheedia gardneriana seedlings. Scientia Agraria. Disponible en: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/8349/5822>

- Centro Internacional de la Papa (CIP). División de Manejo Integrado de Cultivos. 2007. Alternativas al uso del bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad. Lima (Perú). Disponible en: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/004328.pdf#page=37>
- Chang, D.C., Cho, I.C., Suh, J.T. 2011. Growth and Yield Response of Three Aeroponically Grown Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to Different Electrical Conductivities of Nutrient Solution. *Am. J..* <https://doi.org/10.1007/s12230-011-9211-6>
- CONABIO. 2017. *Solanum tuberosum*. Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM). Proyecto GEF-CIBIOGEM de Bioseguridad. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20914\\_sg7.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20914_sg7.pdf)
- CONPAPA. 2020. Vamos a papearnos. Confederación Nacional de productores de papa de la República Mexicana. Disponible en: <https://vamosapapearnos.com/la-papa-en-mexico/>
- Cremona, M.V., Enriquez, A.S. 2020. Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. INTA EEA Bariloche, IFAB (INTA-CONICET), Área de Recursos Naturales. Disponible en: [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7709/INTA\\_CR\\_PatagoniaNorte\\_EEABariloche\\_Cremona\\_MV\\_Algunas\\_Propiedades\\_Del\\_Suelo\\_Que\\_Condicionan\\_Su\\_Comportamiento.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7709/INTA_CR_PatagoniaNorte_EEABariloche_Cremona_MV_Algunas_Propiedades_Del_Suelo_Que_Condicionan_Su_Comportamiento.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. La papa un alimento con historia y cultura. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-papa-un-alimento-con-historia-y-cultura>
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020. FAOSTAT. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Farran, I., Mingol, A.M. 2006. Potato minituber production using aeroponics: effects of plant density and harvesting intervals. *Am J of Potato Res.* 83:47–53. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02869609>.
- Flores, R., Casimiro, M., Sotelo, E., Rubio, O., López, H. 2020. Fertilización NPK, distribución de biomasa y número de minitubérculos de papa en invernadero. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas.* Vol. 11. Disponible en: <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2042/3643>
- Gavilán, F., Ombone, V., Michael, F. 2020. Obtención de plantines de papa (*Solanum tuberosum* L) variedad canchan con el sistema autotrófico hidropónico y dos sustratos, en condiciones de invernadero Paucartambo –

- Pasco. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2034>
- Martínez, G., Ortiz, Y., López, R. 2012. Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. Rev. fitotec. mex vol.35. Chapingo. Disponible en: [www.redalyc.org/pdf/610/61024388009.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/610/61024388009.pdf)
- Moreno, M., Pineda, J., Colinas, M.T., Sahagún, C. 2020. El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol.11. Disponible en: <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2128/3259>
- Nichols, A. M. 2009. Aeroponía y papas. Red Hidroponía. Boletín No 43. Lima-Perú. Disponible en: [http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/boletin43/43\\_Aeroponia\\_Papa.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/boletin43/43_Aeroponia_Papa.pdf)
- Oasis, E. 2017. Manual de hidroponía. OASIS® EASY PLANT®. Smithers Oasis de México, S.A de C.V. Disponible en: <https://www.oasisgrowersolutions.com/pdf/mx/manual-hidroponia.pdf>
- Otazú, V. 2009. Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía. Centro Internacional de la Papa. Disponible en: [https://www.bing.com/search?pglt=43&q=%E2%80%9CManual+on+quality+seed+potato+production+using+aeroponics%E2%80%9D.+V.Otazu.+\(CIP.+2009\)&cvid=50652f89aebd4f67bf63fd2553d1a186&aqs=edge..69i57.2468j0j1&FORM=ANSPA1&PC=U531#](https://www.bing.com/search?pglt=43&q=%E2%80%9CManual+on+quality+seed+potato+production+using+aeroponics%E2%80%9D.+V.Otazu.+(CIP.+2009)&cvid=50652f89aebd4f67bf63fd2553d1a186&aqs=edge..69i57.2468j0j1&FORM=ANSPA1&PC=U531#)
- Otazú, V. 2015. Manual para la Producción de Semilla de Papa usando Aeroponía. Centro Internacional de la Papa (CIP). Disponible en: DOI: 10.4160/9789290604556
- Pérez, D., Gómez, T., González, A., Franco, O., Rubí, M., Gutiérrez, F., Serrato, R. 2013. Calidad de plántula en cinco cultivares de papa determinada por la intensidad de luz blanca y tipo de propagación. Ciencia Ergo Sum. Vol. 20. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10426848002.pdf>
- Quenta, O. 2020. Tesis: Evaluación de dos variedades de albahaca (ocimum bacilicum l.) en sistema hidropónico recirculante nft en el municipio de pucarani – la paz. Universidad Mayor de San Andrés, facultad de agronomía. Disponible: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/24910/T-2778.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>

- SNICS. 2009. Producción de semilla de papa en Baja California. Secretaria De Fomento Agropecuario. Disponible en: <https://www.nacionmulticultural.unam.mx/empresasindigenas/docs/1861.pdf>
- Tsoka, O., Demo, P., Nyende, A., Ngamau, K. 2012. Potato seed tuber production from *in vitro* and apical stem cutting under aeroponic system. African Journal of Biotechnology Vol. 11(63). Disponible en: <http://www.academicjournals.org/AJB> DOI: 10.5897/AJB10.1048
- Véliz, R. 2015. Tesis: Desinfección del efluente secundario de la planta de tratamiento de agua residual de ayacucho mediante radiación ultravioleta con fines de mejorar su calidad. Universidad nacional de San Cristóbal de Huamanga. Disponible en: [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/1094/1/T-INV\\_151015.pdf](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/1094/1/T-INV_151015.pdf)
- Yara. 2017. Ricapapa by Yara. Disponible en: <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/ricapapa-by-yara/>