



Terra Latinoamericana

ISSN: 2395-8030

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

García-Segura, David Rogelio; Valdez-Aguilar, Luis Alonso; Ramírez-Rodríguez, Homero; Zermeño-González, Alejandro; Cadena-Zapata, Martín
Producción de mini tubérculos de papa en aeroponía en comparación con suelo y polvo de coco
Terra Latinoamericana, vol. 39, e902, 2021, Enero-Diciembre
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.902>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57366066040>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

Producción de mini tubérculos de papa en aeroponía en comparación con suelo y polvo de coco

Potato minituber production in aeroponics compared to soil and coir dust

David Rogelio García-Segura¹, Luis Alonso Valdez-Aguilar^{1‡}, Homero Ramírez-Rodríguez¹, Alejandro Zermeño-González¹ y Martín Cadena-Zapata¹

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

‡ Autor para correspondencia (luisalonso.valdez@uaaan.edu.mx)

RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los principales cultivos para la alimentación de la población mundial. Debido a la acumulación de problemas fitosanitarios, los productores de este cultivo se han visto obligados a realizar una mayor aplicación de pesticidas, afectando al medio ambiente y la rentabilidad. Una estrategia para disminuir los problemas fitosanitarios en papa es iniciar el ciclo de producción con mini tubérculos libre de enfermedades, los cuales se producen cultivando plantas certificadas en suelo libre de patógenos; sin embargo, en un sistema de aeroponía, o bien en un sistema de cultivo sin suelo, es posible obtener un mayor rendimiento y calidad del mini tubérculo. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del sistema de aeroponía en la producción de mini tubérculos de papa, comparado con la producción en contenedor en suelo o en un sustrato a base de polvo de coco. En el sistema aeropónico se presentó una producción de mini tubérculos 4.4 × superior al obtenido por plantas en suelo, mientras que las plantas en polvo de coco superaron también a las crecidas en suelo en 40%. La mayor producción de mini tubérculos en aeroponía estuvo asociado con una mayor producción de estolones, ya que estos fueron 2.4 × mayor al producido por plantas en suelo. En aeroponía, el 96.6% de los mini tubérculos pesaron menos de 50 g y solo el 3.4% fue mayor de 50 g; en contraste, el 19.8 y 24.3% de los mini tubérculos fueron mayores de 51 g en plantas crecidas en polvo de coco

o en suelo, respectivamente. En general, el crecimiento vegetativo de las plantas en aeroponía fue mayor que el obtenido en polvo de coco y suelo.

Palabras clave: *cultivos hidropónicos, sistemas de recirculación, sustratos.*

SUMMARY

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the main food crops for feeding the world's population. Due to the accumulation of parasitological problems, potato growers have been forced to make a greater application of pesticides, affecting the environment and profitability. A strategy to reduce plant health problems in potato is to start the growing season with disease-free minitubers, which are grown from certified plants in pathogen-free soil; however, in aeroponics or in a soilless cultivation system, a higher yield and quality of mini tubers might be obtained. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of aeroponics on minituber production compared to the production in soil or in a substrate based on coconut coir dust. In aeroponics, a mini tuber production resulted 4.4 times higher than that obtained by plants on soil, while plants on coir dust also outperformed production on soil by 40%. Higher production of minitubers in aeroponics was associated with higher stolon production, since 2.4 times more stolons were produced than those by plants in soil. In aeroponics, 96.6% of the minitubers weighed less than 50 g and only 3.4% was greater than

Cita recomendada:

García-Segura, D. R., Valdez-Aguilar, L. A., Ramírez-Rodríguez, H., Zermeño-González, A. y Cadena-Zapata, M. (2021). Producción de mini tubérculos de papa en aeroponía en comparación con suelo y polvo de coco. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-10. e902. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.902>

50 g; in contrast, 19.8% and 24.3% of minitubers were greater than 50.1 g in plants grown in coir dust or in soil, respectively. In general, the vegetative growth of plants in aeroponics was greater than that obtained in coconut coir dust and soil.

Index words: *hydroponics, recirculating systems, substrates.*

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los principales cultivos para suplementar la alimentación de la población; a nivel mundial, en el 2018 se produjeron más de 368 millones de toneladas del tubérculo en una superficie de 17.6 millones de hectáreas (FAO, 2020). A nivel nacional, se produjeron en el 2018 alrededor de 1.8 millones de toneladas de este alimento, destacando los estados de Sonora, Sinaloa, Puebla, México y Veracruz como las entidades con la mayor producción, con un 23, 21, 11, 9 y 9%, respectivamente (SIAP, 2019). El rendimiento promedio nacional es superior a la media internacional, pues este es de 29.9 Mg ha^{-1} en México (SIAP, 2019), mientras que a nivel mundial el rendimiento es de 20.9 Mg ha^{-1} (FAO, 2020).

Debido a la acumulación de problemas fitosanitarios, así como por la adaptación a cambios de tipo climático, la producción de este cultivo se ha complicado para los productores, quienes tratan de contrarrestarlos mediante la aplicación excesiva de pesticidas y una mayor dosis de fertilización, afectando consecuentemente el ambiente y en la rentabilidad (Sifuentes *et al.*, 2013). Con el objetivo de disminuir los problemas fitosanitarios, es importante iniciar el ciclo de producción con tubérculos “semilla” de alta calidad. A estos tubérculos utilizados como semilla se les conoce como “mini tubérculos”, y su calidad se define por el hecho de estar libre de plagas y patógenos (Çalışkan, Yavuz, Yağız, Demirel y Çalışkan, 2020), el contar con un buen estado fisiológico en cuanto a madurez y reservas para brotar, así como el estar libres de residuos de piedras o suelo y no tener daños mecánicos (Andrade-Piedra, 2015), además de su uniformidad en peso y tamaño. Los mini tubérculos de papa de manera convencional se producen a campo abierto (Chiipanthenga, Maliro, Demo y Njoloma, 2012), sin embargo, la producción en invernadero es una opción viable ya que permite la obtención de mini tubérculos sanos y de tamaño adecuado, de 1 a 2 cm de diámetro,

lo que garantiza que sus reservas sean suficientes para asegurar la emergencia y establecimiento del cultivo una vez plantados en campo abierto (Flores-López *et al.*, 2009).

La producción de mini tubérculo en invernadero se realiza cultivando plantas de papa certificadas en contenedores con suelo libre de patógenos; una vez que el suelo ya no garantiza la sanidad, este se esteriliza o bien se sustituye por suelo nuevo. Sin embargo, la producción de mini tubérculo en un sistema de aeroponía o bien en un sistema de cultivo sin suelo en un sustrato, permiten un mayor rendimiento y calidad del mini tubérculo (Andrade-Piedra, 2015).

La aeroponía es un sistema de producción de plantas en un medio con aire humedecido mediante nebulización, sin el uso de suelo ni otro tipo de sustrato (Buckseth, Sharma, Pandey, Singh y Muthuraj, 2016). La aeroponía tiene algunas ventajas, entre las que se han enumerado la recirculación de la solución nutritiva y el hecho de que se puede adaptar para sistemas de cultivo vertical, además de que brinda la posibilidad de múltiples cosechas en el caso de cultivos perennes, y en caso de que se presenten problemas fitosanitarios, es posible remover las plantas afectadas rápidamente (Lakhia, Gao, Syed, Chandio y Buttar, 2018). Estas ventajas permiten obtener altas tasas de multiplicación y producción de mini tubérculos por unidad de superficie, una mayor eficiencia en el uso del agua y de otros productos químicos, y una mayor calidad fitosanitaria (Mateus-Rodríguez *et al.*, 2013). Sin embargo, la aeroponía también tiene algunas desventajas, como lo es el requerimiento de equipo avanzado de riego, la preparación de personal calificado para la operación del sistema, el potencial de pérdida total en caso de accidentes (Mateus-Rodríguez *et al.*, 2013) como la pérdida de energía para la operación de bombas (Buckseth *et al.*, 2016), y el alto costo de inversión en instalaciones a larga escala (Lakhia *et al.*, 2018).

La aeroponía permite reducir el número de ciclos de multiplicación que en la producción a campo abierto se requieren para producir el mini tubérculo de categorías iniciales (Andrade-Piedra, 2015), sin embargo, existen pocos estudios que permitan comparar entre los diversos métodos de producción de mini tubérculo, por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del sistema de aeroponía en el rendimiento y calidad de mini tubérculo, comparado con la producción en contenedor en suelo y en un sustrato a base de polvo de coco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del Experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante los meses julio-noviembre de 2019.

A partir de tubérculos certificados de la variedad Fianna, plantados en un sustrato compuesto por una mezcla 40:40:20 (v/v) de turba ácida, polvo de coco y perlita, se produjeron plantas de papa que posteriormente fueron utilizadas para trasplantarse en los sistemas de producción que funcionaron como los tratamientos bajo estudio; aeroponía, en suelo o en polvo de coco.

Tratamientos

El sistema aeropónico utilizado constó de tres estructuras metálicas con las siguientes medidas: 1.80 m en la base, 0.90 m de altura, 0.90 m de ancho en la parte superior, y 2 m de longitud. La estructura fue forrada con polietileno calibre 600 y dividido en 4 compartimientos correspondientes cada uno a

una repetición. El interior fue cerrado para evitar el paso de la luz hacia las raíces y como sistema de riego se empleó una manguera con nebulizadores para humedecer las raíces con la solución nutritiva. El sistema estaba conectado a bombas de agua y recipientes para almacenar la solución nutritiva que era recirculada en cada uno de los riegos. Los contenedores para los tratamientos en suelo o polvo de coco tenían una dimensión de 69 cm de largo, 39 cm de ancho y una altura de 16 cm. En el tratamiento aeropónico, así como en los contenedores con suelo o polvo de coco, la densidad de plantación fue de 35 plantas por metro cuadrado.

El suelo utilizado en el tratamiento correspondiente tenía una textura franco arcillosa, con un punto de saturación de 58%, capacidad de campo de 31%, punto de marchitez permanente de 18.4%, conductividad hidráulica 1.10 cm hr⁻¹, densidad aparente 1.15 g cm⁻³, carbonatos totales 8.42%, conductividad eléctrica 1.15 dS m⁻¹, y pH (1.2 agua) 7.98. El análisis de la composición química del suelo se indica en el Cuadro 1.

El trasplante tanto en el sistema de aeroponía como en los contenedores con suelo o polvo de coco se llevó a cabo con plantas de 15-20 cm de altura, cuidando de no dañar las raíces para evitar daños en el crecimiento.

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo utilizado en el estudio para producción de mini tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.).
Table 1. Chemical properties of the soil used in the study for minituber production of potato (*Solanum tuberosum* L.).

Determinación	Resultado	Unidad	Muy bajo	Bajo	Moderadamente bajo	Mediano	Moderadamente alto	Alto	Muy alto
Materia orgánica	3.99	%						X	
P-Olsen	24.8	mg kg ⁻¹					X		
K	413	mg kg ⁻¹					X		
Ca	7263	mg kg ⁻¹							X
Mg	304	mg kg ⁻¹				X			
Na	66.9	mg kg ⁻¹	X						
Fe	6.31	mg kg ⁻¹			X				
Zn	1.37	mg kg ⁻¹				X			
Mn	17.9	mg kg ⁻¹					X		
Cu	0.38	mg kg ⁻¹		X					
B	0.94	mg kg ⁻¹				X			
S	25.9	mg kg ⁻¹							X
N-NO ₃ ⁻	24.2	mg kg ⁻¹					X		

En el sistema aeropónico se tuvo especial cuidado de lavar las raíces hasta eliminar todo residuo de sustrato para evitar taponamiento de los nebulizadores.

Las plantas en aeroponía y en polvo de coco se irrigaron con la solución nutritiva universal de Steiner (1961) (12 meq L⁻¹ de NO₃⁻, 1 meq L⁻¹ de H₂PO₄⁻, 7 meq L⁻¹ de SO₄²⁻, 7 meq L⁻¹ K⁺, 9 meq L⁻¹ de Ca²⁺ y 4 meq L⁻¹ de Mg²⁺). El pH de la solución nutritiva se ajustó a 5.8-6.0 con ácido sulfúrico diariamente y la conductividad eléctrica fue de 2.3 dS m⁻¹. El agua con el que se preparó la solución nutritiva tenía un pH de 8.2, una conductividad eléctrica de 0.95 dS m⁻¹, y un contenido de Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, y carbonatos totales de 4, 2, 3, 6 y 3 meq L⁻¹, respectivamente; la composición del agua fue tomada en cuenta al hacer los cálculos para preparar la solución nutritiva. Debido a la alta capacidad de intercambio catiónico, las plantas en suelo se irrigaron con la solución nutritiva al 50% de concentración. En los tratamientos en suelo o polvo de coco, los riegos se aplicaron cada tercer día, mientras que para la aeroponía los riegos se programaron durante las 24 horas del día con ayuda de interruptores electromecánicos (Tork, modelo 8001 y 8601); durante el día, el sistema aeropónico permanecía 5 minutos activo y 5 minutos inactivo, mientras que durante la noche este permanecía 5 minutos activo y 30 minutos inactivo.

Variables Evaluadas

A los 75 días después del trasplante inició la cosecha de mini tubérculos en el sistema de aeroponía; estos se cosecharon cuando tenían un diámetro de 4 cm aproximadamente, mientras que los mini tubérculos más pequeños se mantuvieron en la planta y se les permitió continuar creciendo hasta alcanzar el diámetro establecido. La cosecha se realizó semanalmente hasta finalizar el estudio a los 120 días después del trasplante. En el caso de las plantas en contenedor con suelo o polvo de coco, se realizó una sola cosecha de mini tubérculos al concluir el estudio.

Dentro de las variables evaluadas se registró el número de estolones y mini tubérculos por planta, así como el peso fresco y diámetro polar y ecuatorial de los mini tubérculos. Los mini tubérculos se agruparon de acuerdo a los diámetros obtenidos y al peso fresco y se determinó la frecuencia de la distribución de cada grupo. Por su peso, los mini tubérculos se clasificaron en cuatro grupos: menores de 25 g, de 25.1 a 50 g, de

50.1 a 100 g, y de 100.1 a 200 g, mientras que para el diámetro polar y ecuatorial los grupos fueron: menores de 2.5 cm, de 2.51 a 5 cm, de 5.01 a 7.5 cm, y de 7.51 a 10 cm. Al momento de la cosecha final (120 días después del trasplante), las plantas fueron extraídas y se les midió la longitud de tallo (desde el cuello hasta el ápice de la planta), la longitud y el volumen de la raíz (por el método del desplazamiento de agua en probeta graduada), el diámetro basal del tallo, y el peso fresco de tallo, hoja y raíz.

Análisis de Datos

El experimento se estableció mediante un diseño completamente al azar con tres tratamientos y 12 repeticiones. Cada repetición consistió de 52 plantas para la aeroponía mientras que en suelo o en polvo de coco cada repetición consistió de 20 plantas. Los datos registrados fueron sometidos a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey ($P < 0.001$) empleando SAS v 8.2 (SAS, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Mini Tubérculo

El sistema aeropónico presentó la máxima producción de mini tubérculos (Figura 1), la cual fue 4.4 veces superior al obtenido en plantas en suelo, mientras que las plantas en polvo de coco superaron también a las crecidas en suelo por 40%. Estos resultados superan incluso lo reportado por diversos autores para un sistema aeropónico con 13.4 (Farran y Mingo-Castel, 2006), 12.4 (Ritter *et al.*, 2001) y 12.6 (Tierno, Carrasco, Ritter y Ruiz de Galarreta, 2014) mini tubérculos por planta respectivamente. Calori *et al.* (2018) reportan rendimientos de 26.3 y 21.8 mini tubérculos en el cultivar Agata, plantado a una densidad de 25 y 44 plantas m⁻², respectivamente. En polvo de coco se registró un promedio similar a los 4.9 y 4.4 reportados por Ritter *et al.* (2001), quien creció las plantas en un sustrato a base de perlita, y mayores a los 3.84 reportados por de Feria *et al.* (2016), mientras que en suelo se obtuvo la menor producción (Figura 1).

La mayor producción de mini tubérculos por las plantas en aeroponía estuvo asociado con una mayor producción de estolones, ya que estos fueron 2.4 × mayor al número producido por plantas en suelo;

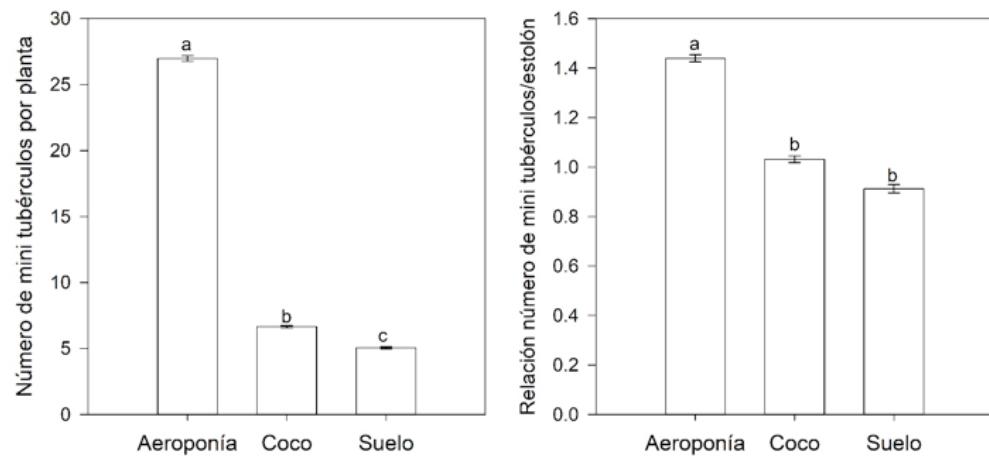


Figura 1. Efecto de los sistemas de producción sobre el número de mini tubérculos cosechados y la relación mini tubérculos por estolón en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.). Promedios seguidos de diferente letra son significativos de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.001$). Las barras indican el error estándar de la media.

Figure 1. Effect of the production systems on the number of minitubers harvested and minutuber per stolon ratio on potato (*Solanum tuberosum* L.) plants. Means followed by different letters are significant according to Tukey's test ($P < 0.001$). Bars represent the standard error of the mean.

en cambio, las plantas crecidas en polvo de coco no superaron a las de suelo (Figura 2). El número de estolones obtenido en el presente estudio por plantas en el sistema aeropónico fue mayor a los 13.5 reportados por Farran y Mingo-Castel (2006). Según Barona, Mateus y Montesdeoca (2015), la mayor producción de estolones en aeroponía se debe a las condiciones

de humedad y oscuridad que se presentan en la parte basal del tallo de las plantas crecidas en el sistema aeropónico, lo que induce la síntesis de hormonas como el ácido giberélico, el ácido abscísico y el ácido indolacético, las cuales estimulan el desarrollo de estas estructuras, lo que finalmente conduce a la producción de un mayor número de mini tubérculos.

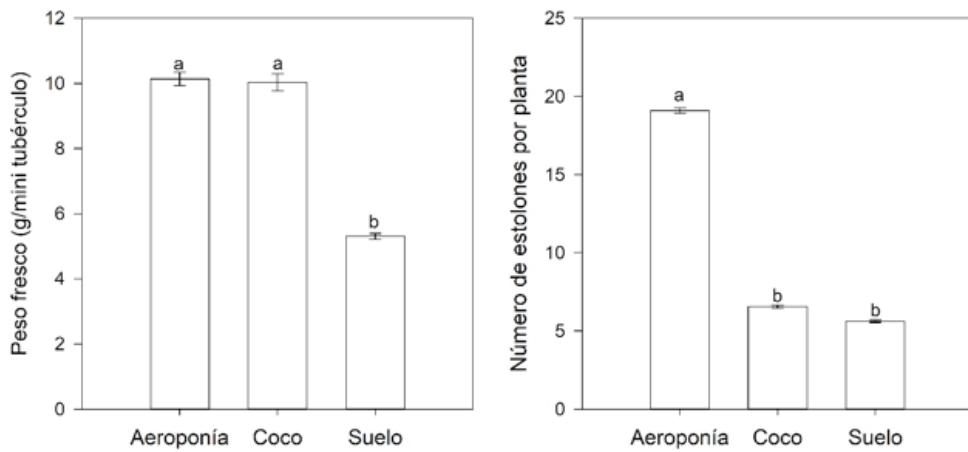


Figura 2. Efecto de los sistemas de producción sobre el peso fresco de mini tubérculos y número de estolones producidos por plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.). Promedios seguidos de diferente letra son significativos de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.001$). Las barras indican el error estándar de la media.

Figure 2. Effect of the production systems on fresh weight and number of stolons produced by potato (*Solanum tuberosum* L.) plants. Means followed by different letters are significant according to Tukey's test ($P < 0.001$). Bars represent the standard error of the mean.

El peso de los mini tubérculos producidos por plantas en aeroponía o en polvo de coco superó a aquellos producidos en suelo (Figura 2). Similarmente, en aeroponía se obtuvieron 61% más mini tubérculos por estolón que en suelo, mientras que en polvo de coco el aumento fue del 13% (Figura 1); estos resultados indican que la mayor producción de mini tubérculos en aeroponía se debe tanto a una mayor producción de estolones por planta, así como también a una mayor producción de mini tubérculos por cada estolón producido, sugiriendo que los estolones se están ramificando.

Tamaño y Biomasa de los Mini Tubérculos

Aunque se produjo una mayor cantidad de mini tubérculos en plantas desarrolladas en aeroponía, el 96.6% de ellos resultaron pesar menos de 50 g y solo el 3.4% fue mayor de 50.1 g (Figura 3); esto se debe a que los mini tubérculos en aeroponía son cosechados justo en el momento en que alcanzan el tamaño deseado. En contraste, el 19.8 y 24.3% de los mini tubérculos fueron mayores de 50.1 g en plantas crecidas en polvo de coco o en suelo, respectivamente (Figura 3). Estos resultados coinciden con los reportados por Ritter *et al.* (2001) y Farran y Mingo-Castel (2006), quienes obtuvieron mini tubérculos de 9.89 y 8.9 g en una producción aeropónica.

En cuanto a la distribución por tamaño se observa que aproximadamente el 75% de los mini tubérculos en aeroponía se encuentran entre 2.51-5 cm en diámetro polar (Figura 4) y ecuatorial (Figura 5), mientras que para el suelo los valores se encuentran entre 50 y 60% y para polvo de coco entre 35 y 50%. Estos resultados indican que en aeroponía los mini tubérculos son más uniformes en cuanto a peso y tamaño.

Crecimiento Vegetativo

La longitud del tallo de las plantas en aeroponía fue mayor que el obtenido en polvo de coco y suelo (Cuadro 2). Farran y Mingo-Castel (2006) registraron para plantas en aeroponía un promedio de 100 cm de longitud de tallo, similar a las obtenidas en la presente investigación, mientras que Ritter *et al.* (2001) y Tierno *et al.* (2014) obtuvieron plantas de 165 y 92.7 cm de longitud, respectivamente. En el presente estudio, las plantas en polvo de coco obtuvieron una longitud mayor a los 47 cm reportados por Flores-López *et al.* (2009) y a los 59.3 cm registrados por Vásquez-Ramírez, Pérez y Lara (2019). Las plantas desarrolladas en suelo mostraron la menor longitud de tallo (Cuadro 2). La misma tendencia se observó en otras variables como el diámetro de tallo y la longitud y volumen de raíz (Cuadro 2), así como en el peso fresco de hojas, tallos, raíces y total (Cuadro 3).

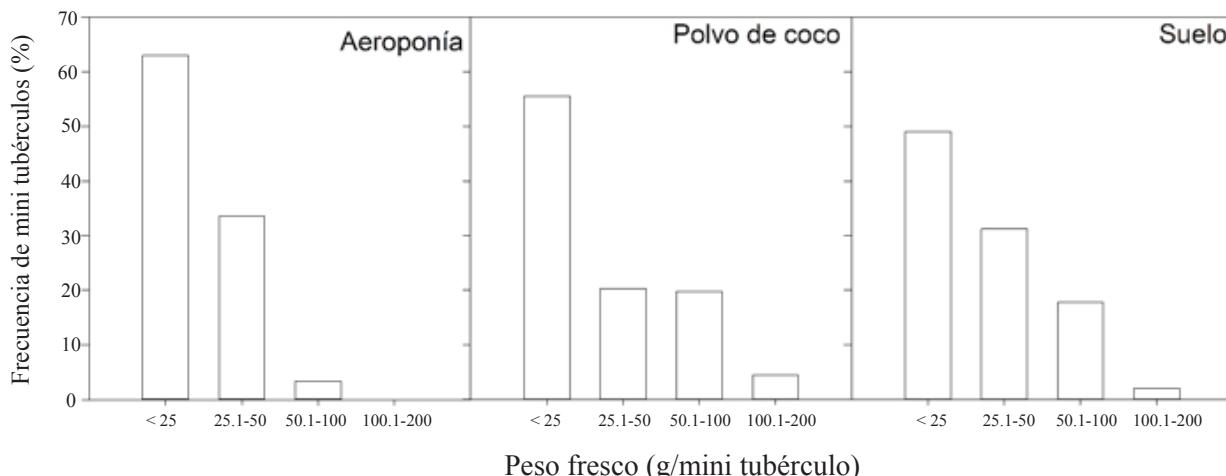


Figura 3. Efecto de los sistemas de producción en aeroponía, polvo de coco y suelo sobre la frecuencia de distribución del peso seco de los mini tubérculos producidos en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.).

Figure 3. Effect of aeroponics production systems, coir and soil on frequency distribution in fresh weight of minitubers produced by potato (*Solanum tuberosum* L.) plants.

Estos resultados muestran que el desarrollo de las plantas fue mayor en el sistema de aeroponía, lo cual se puede deber a las condiciones de aireación del sistema radical y a la mayor velocidad de crecimiento

de las plantas reportada por Mateus-Rodríguez *et al.* (2013). En cuanto a las plantas crecidas en polvo de coco, estas no mostraron en general un crecimiento mayor al obtenido por las plantas en suelo (Cuadro 2 y 3).

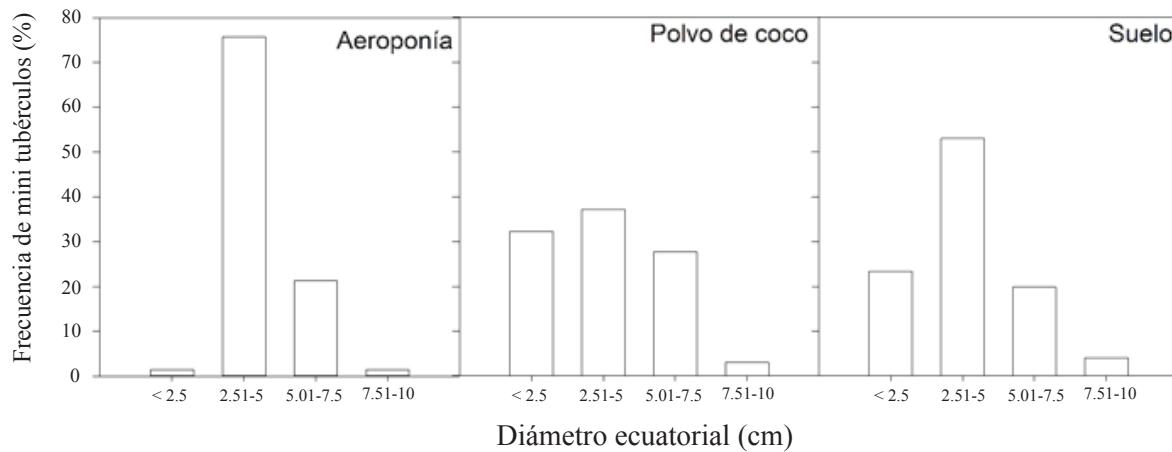


Figura 4. Efecto de los sistemas de producción en aeroponía, polvo de coco y suelo sobre la frecuencia de distribución del diámetro polar de los mini tubérculos producidos en plantas de papa (*Solanum tuberosum L.*).

Figure 4. Effect of aeroponics production systems, coir and soil on the distribution of polar diameter in minitubers produced by potato (*Solanum tuberosum L.*) plants.

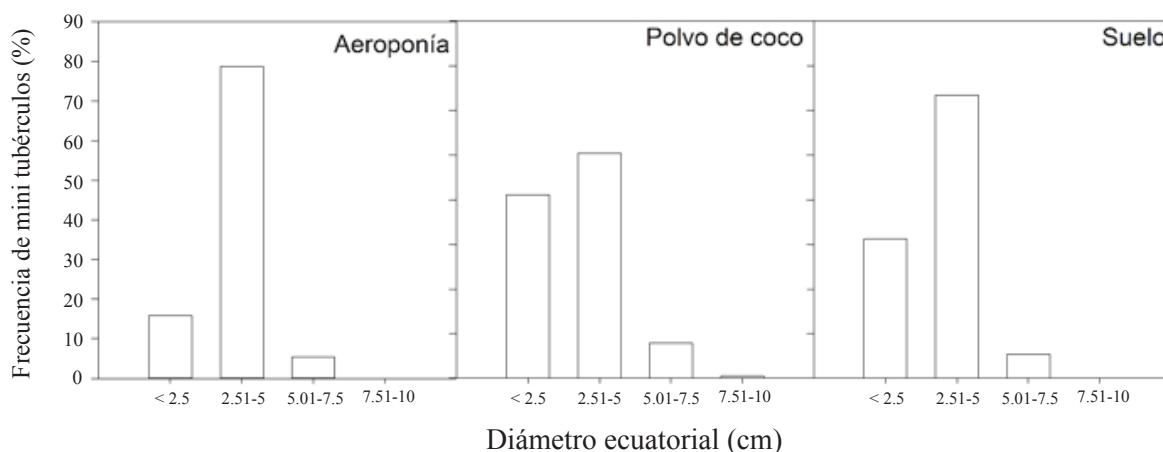


Figura 5. Efecto de los sistemas de producción en aeroponía, polvo de coco y suelo sobre la frecuencia de distribución del diámetro ecuatorial de los mini tubérculos producidos en plantas de papa (*Solanum tuberosum L.*).

Figure 5. Effect of production systems in aeroponics, coir and soil on distribution of equatorial diameter of mini tubers produced by potato (*Solanum tuberosum L.*) plants.

Cuadro 2. Efecto del sistema de producción de mini tubérculos en el crecimiento vegetativo de plantas de papa (*Solanum tuberosum L.*).
Table 2. Effect of minituber production system on vegetative traits in potato (*Solanum tuberosum L.*) plants.

	Tallo		Raíz	
	Longitud	Diámetro	Longitud	Volumen
	cm	mm	cm	cm ³
Aeroponía	119.0±4.28a	7.17±0.28a	98.5±3.92a	74.2±8.48a
Polvo de coco	65.1±2.51b	5.23±0.42b	33.3±1.05b	6.5±0.35b
Suelo	42.0±2.29b	5.04±0.42b	27.9±1.94b	4.0±0.22b
CV %	7.89	29.3	11.7	14.9

Medias con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P < 0.001$. CV = coeficiente de variación.

Means with the same letter are not differ from each other, Tukey $P < 0.001$. CV = coefficient of variation.

Cuadro 3. Efecto del sistema de producción de mini tubérculos en el peso fresco de plantas de papa (*Solanum tuberosum L.*).
Table 3. Effect of minituber production system on fresh weight of potato (*Solanum tuberosum L.*) plants.

	Peso fresco			
	Tallo	Hoja	Raíz	Total
	----- g -----			
Aeroponía	94.5±6.65a	94.3±9.79a	88.8±8.96a	277±21.2a
Polvo de coco	40.6±1.14b	5.4±0.32b	20.5±1.36b	66±4.4b
Suelo	12.5±0.52c	4.0±0.29b	8.6±0.36b	25±1.9b
CV %	16.0	12.4	34.1	15.0

Medias con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P < 0.001$. CV = coeficiente de variación.

Means with the same letter are not differ from each other, Tukey $P < 0.001$. CV = coefficient of variation.

CONCLUSIONES

La producción de mini tubérculos en el sistema aeropónico es 417% mayor a los producidos en polvo de coco y 551% mayor a los producidos en suelo. La producción de mini tubérculos en aeroponía estuvo relacionada con la mayor producción de mini tubérculos por estolón y a un mayor número de estolones desarrollados, además, en aeroponía, los mini tubérculos son más uniformes en peso y tamaño debido a que en este sistema los mini tubérculos se cosechan cuando han alcanzado el tamaño deseado.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: L.A.V.A. y D.R.G.S. Metodología: L.A.V.A. y D.R.G.S. Software: D.R.G.S. Validación: H.R.R., M.C.Z. y A.Z.G. Análisis formal: L.A.V.A. y D.R.G.S. Investigación: D.R.G.S. y L.A.V.A. Recursos: L.A.V.A. Curación de datos: D.R.G.S. Escritura, preparación del borrador original: D.R.G.S. Escritura, revisión y edición: L.A.V.A., H.R.R., M.C.Z. y A.Z.G. Visualización: L.A.V.A. Supervisión: L.A.V.A. Administración del proyecto: L.A.V.A. Adquisición de fondos: L.A.V.A.

AGRADECIMIENTOS

No aplica.

LITERATURA CITADA

- Andrade-Piedra, J. (2015). Conceptos iniciales en la producción de semilla de papa. En J. Andrade-Piedra, P. Kromann & V. Otazú (Eds.). *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú* (pp. 13-25). Quito, Ecuador: Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). <https://doi.org/10.4160/9789290604556>
- Barona, D., Mateus-Rodríguez, J., & Montesdeoca, F. (2015). La planta de papa: ecofisiología y nutrición mineral. En J. Andrade-Piedra, P. Kromann, & V. Otazú (Eds.). *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú* (pp. 109-130). Quito, Ecuador: Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). <https://doi.org/10.4160/9789290604556>
- Buckseth, T., Sharma, A. K., Pandey, K. K., Singh, B. P., & Muthuraj, R. (2016). Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics-A review. *Scientia Horticulturae*, 204, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2016.03.041>
- Çalışkan, M. E., Yavuz, C., Yağız, A. K., Demirel, U., & Çalışkan, S. (2020). Comparison of aeroponics and conventional potato mini tuber production systems at different plant densities. *Potato Research*, 64, 41-53. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09463-z>
- Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Moraes, C. C., & Purquerio, L. F. V. (2018). Seed potato minituber production in an aeroponic system under tropical conditions: electrical conductivity and plant density. *Journal of Plant Nutrition*, 41(17), 2200-2209. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1497652>
- Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P., & Njoloma, J. (2012). Potential of aeroponics system in the production of quality potato (*Solanum tuberosum* L.) seed in developing countries. *African Journal of Biotechnology*, 11(17), 3393-3399. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1138>
- de Feria, M., García-Águila, L., Hurtado, O., Chamizo, M., Alvarado-Capó, Y., La O, M.,... Castillo, J. (2016). Producción de mini tubérculos de cuatro variedades cubanas de papa en casa de cultivo con sustrato de zeolita. *Biotecnología Vegetal*, 16(4), 257-260.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). *FAOSTAT. Food and Agriculture Data*. Consultada el 29 de noviembre, 2020, desde <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Farran, I. & Mingo-Castel, A. M. (2006). Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 83, 47-53. <https://doi.org/10.1007/BF02869609>
- Flores-López, R., Sánchez-del Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., Mora-Aguilar, R., & Lozoya-Saldaña, H. (2009). Densidad de población en cultivo hidropónico para la producción de tubérculo-semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(3), 251-258.
- Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., & Buttar, N. A. (2018). Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 338-352. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308>
- Mateus-Rodríguez, J. R., de Haan, S., Andrade-Piedra, J. L., Maldonado, L., Hareau, G., Barker, I.,... Benítez, J. (2013). Technical and economic analysis of aeroponics and other systems for potato mini-tuber production in Latin America. *American Journal of Potato Research*, 90, 357-368. <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9312-5>
- Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Rellosa, J., & San José, M. (2001). Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, 44, 127-135. <https://doi.org/10.1007/BF02410099>
- SAS Institute. (2001). User's Guide: Statistics, Version 8.2. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). Atlas agroalimentario 2019. Consultado el 30 de noviembre, 2020, desde https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019
- Sifuentes Ibarra, E., Ojeda Bustamante, W., Mendoza Pérez, C., Macías Cervantes, J., Rúelas Islas, J. R., & Inzunza Ibarra, M. A. (2013). Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el "Valle del Fuerte", Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 585-597.

- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15, 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Tierno, R., Carrasco, A., Ritter, E., & Ruíz de Galarreta, J. I. (2014). Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. *American Journal of Potato Research*, 91, 346-353. <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>
- Vásquez-Ramírez, W., Pérez-Ascencio, M. A., & Lara-Ascencio, F. (2019). Evaluación de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.), tres densidades de siembra y dos sustratos para producción de semilla prebásica. *Revista Agrociencia (El Salvador, CA)*, 3(13), 33-49.