

## Productividad de dos genotipos mexicanos de papa en perlita y agregados en hidroponía e invernadero

Francisco Xavier Flores Gutiérrez<sup>1</sup>

Román Flores López<sup>2§</sup>

Martha Elena Mora Herrera<sup>1</sup>

Omar Franco Mora<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Campus* Universitario-Centro Universitario Tenancingo-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Tenancingo-Villa Guerrero, Santa Ana Ixtlahuatzingo km 1.5, Tenancingo, Estado de México CP. 52400. Tel. 714 1407724. (fxfloresg@uaemex.mx; marthaelenam@gmail.com). <sup>2</sup>Sitio Experimental Metepec-INIFAP. Carretera Toluca-Zitácuaro km 4.5, Vialidad Adolfo López Mateos, Col. San José Barbabosa, Zinacantepec, Estado de México. CP. 51350. Tel. 55 38718700, ext. 85638. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México-*Campus* Universitario 'El Cerrillo'. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50200. Tel. 722 2965529 (ofrancom@uaemex.mx).

§Autor por correspondencia: flores.roman@inifap.gob.mx.

### Resumen

Con el objetivo de determinar la respuesta productiva de dos genotipos de papa mexicanos en dos sustratos en sistema hidropónicos de cultivo, se establecieron tres experimentos con perlita grado hortícola y con la mezcla de perlita con turba 1:1 v/v (agregados), por lo que se establecieron experimentos en los ciclos otoño 2015, primavera 2016 y verano 2016. Con perlita, la variedad Citlali y el clon 99-39, produjeron en promedio 15.92 y 34.25 tubérculos por planta, respectivamente; en agregados produjeron 11.92 y 15.42 tubérculos por planta, respectivamente. El genotipo 99-39 superó a Citlali hasta en 10.9 tubérculos por planta en promedio de los tres ciclos de cultivo y produjo 2.2 veces más tubérculos en otoño que en primavera, así como 2.9 más tubérculos en otoño que en verano. Citlali produjo 3.6 veces más tubérculos en otoño que en verano y cinco veces más en otoño que en primavera. El sustrato más eficiente fue perlita grado hortícola, el clon 99-39 resultó más productivo que la variedad Citlali, la producción de tubérculos en ambos genotipos se vio afectada estrechamente por la estación del año y los resultados permitirán tomar decisiones sobre el manejo de la producción de semilla prebásica II en ambos genotipos.

**Palabras clave:** agregados, perlita, semilla prebásica II, tubérculo.

Recibido: junio de 2019

Aceptado: septiembre de 2019

## Introducción

La producción de minitubérculos de papa en invernadero tiene como objetivo el incremento de material de propagación con alta calidad fitosanitaria (Struik, 2008) y el esquema formal de producción de semilla de papa en México considera una etapa de multiplicación en invernadero, donde se produce la categoría prebásica II, descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002 (SENASICA, 2015) y corresponde a minitubérculos obtenidos de plántulas o de minitubérculos libres de plagas y enfermedades, incrementados en condiciones apropiadas para conservar su grado de pureza, calidad fitosanitaria y características fisiológicas adecuadas.

La turba es el sustrato utilizado por los productores de semilla de papa en la categoría prebásica II en México (Arellano *et al.*, 2010; Patrón, 2014; Flores López *et al.*, 2014); no obstante, Flores López *et al.* (2016) mencionan otros sustratos orgánicos en la producción de minitubérculos, como la fibra de coco, cascarilla de arroz e inorgánicos como el tezontle, perlita, arena y gravas; las mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos son llamados agregados (Resh, 2006).

Lo hidroponía es una alternativa para la producción de minitubérculos en condiciones controladas (Lommen, 2008) y existen alternativas al uso de suelo (Wheeler *et al.*, 1990; Farran y Mingo Castel, 2006; Corrêa *et al.*, 2009; Chang *et al.*, 2011; Chang *et al.*, 2012; Mateus-Rodríguez *et al.*, 2013).

La comparación de sistemas de producción de minitubérculos en invernadero se ha reportado por Muro *et al.* (1997); Medeiros *et al.* (2002); Tierno *et al.* (2013); además, Lommen (2008) señala que las técnicas hidropónicas para la producción de minitubérculos tienen menor riesgo de presencia de patógenos presentes en el suelo o sustrato orgánico como turba, aserrín, fibra de coco, cascarilla de arroz, entre otros; asimismo, pueden ser usados solos o en mezclas (agregados) en distintas proporciones volumen/volumen (v:v).

Los sustratos inertes y orgánicos actúan como anclaje de las raíces y como reservorio de la solución nutritiva; la agricultura hidropónica tiene como base el cultivo con o sin suelo, en diferentes clasificaciones (Urrestarazu, 2013); asimismo, la respuesta varietal a los sistemas hidropónicos y sustratos no es consistente, todo lo contrario, es diversa y se presentan diferencias e interacciones sistema-variedad y sustrato-cultivar (Muro *et al.*, 1997; Corrêa *et al.*, 2008; Tierno *et al.*, 2013). Los cultivos en invernadero permiten, además, reducir el efecto de plagas y enfermedades (Adams, 2004), requisito indispensable para la producción de semilla prebásica II de papa; no obstante, es necesario considerar la disponibilidad de sustratos y la esterilización adecuada de este recurso.

En México, las mezclas de sustratos orgánicos se emplean con éxito en la producción de minitubérculos de papa (Rubio *et al.*, 2000; Arellano *et al.*, 2010). El sistema hidropónico abierto, se ha evaluado y usado por Rolot y Seutin (1999); Ritter *et al.* (2001); Corrêa *et al.* (2008) con respuestas variables, respecto a otros sistemas cerrados.

Flores-López *et al.* (2016) reportaron el efecto de la nutrición en la producción de minitubérculos de clones avanzados del programa de papa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en sistema abierto de hidroponía y con perlita grado hortícola y dada la respuesta diferencial de los cultivares de papa en sistemas hidropónicos en invernadero, el objetivo del presente trabajo fue determinar la productividad de dos genotipos de papa en la producción de minitubérculos con dos sustratos en sistema hidropónico.

## Materiales y métodos

Tres experimentos con dos sustratos de cultivo y dos genotipos mexicanos de papa se establecieron en los ciclos otoño-invierno el día 10 de noviembre de 2015 (otoño), primavera-verano el día 30 de marzo de 2016 (primavera) y en el ciclo verano-otoño, el día 26 de agosto de 2016 (verano), en invernaderos e instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicadas con referencia geográfica de 10° 17' 28'' latitud norte y 99° 42' 51'' longitud oeste (SMN, 2017) y clima templado con lluvias en verano, con precipitación entre 800 y 1 000 mm, a una altitud de 2 726 msnm (INEGI, 2009).

Los sustratos evaluados fueron perlita grado hortícola y el testigo comercial, una mezcla de perlita grado hortícola y turba en una relación 1:1 v/v, al que se le denominará agregados en este estudio; todo en sistema hidropónico. Se utilizaron macetas de 1.8 L, empleando un sistema de riego por cintilla y goteros cada 15 cm, para mantener la humedad y distribuir la solución nutritiva. La densidad de población fue de 36 plantas por metro cuadrado y se programaron 10 riegos por día en el sustrato perlita y en agregados se suministró la solución nutritiva cada dos días, como se hace en forma comercial. Durante el desarrollo del cultivo se aplicaron fungicidas e insecticidas para el control preventivo de plagas.

Los materiales mexicanos de papa fueron el clon 99-39 de cutícula blanca, forma oblonga y pulpa crema, de ciclo semi tardío y la variedad Citlali, de cutícula roja, forma redonda y pulpa amarilla, de ciclo precoz. La solución nutritiva empleada fue N= 200, P= 80, K= 350, Ca= 100 mg L<sup>-1</sup>, más microelementos (Flores-Gutiérrez *et al.*, 2018; Flores-López *et al.*, 2016). La temperatura del invernadero se registró con un termómetro Data logger HANNA modelo HII4ICH CE IP67®, en el ciclo otoño-invierno la temperatura media fue de 15 °C, con una máxima de 35 °C y mínima de -2 °C; en el ciclo primavera-verano la temperatura media fue de 22 °C, con una máxima de 46 °C y la mínima de 8 °C, mientras que en ciclo verano-otoño la media fue de 20 °C, con una máxima de 40 °C y la mínima de 4 °C. Los tubérculos empleados fueron seleccionados con un diámetro entre 15 y 18 mm, libres de enfermedades y un solo brote, se sembraron a 10 cm de profundidad, en la misma fecha, para ambos sustratos.

Los experimentos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones anidadas en los sistemas y el análisis estadístico se realizó como una serie de experimentos en el que se probó la significancia de los ciclos, los sistemas de cultivo, los clones de papa y la interacción entre ellos; cuando la prueba de F del análisis de varianza mostró diferencias estadísticas, se aplicó la prueba de Tukey (DMSH) a un nivel de significancia de 0.05.

Las variables de estudio fueron: valores SPAD, medición que se realizó con un SPAD-502 Konica Minolta®, índice de área foliar (IAF), determinación que se efectuó con un Ceptómetro Lineal modelo LP-80AccuPAR® y altura de planta; estas tres mediciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds).

A la cosecha se evaluó el número de tubérculos menores de 15 mm de diámetro por planta, el número de tubérculos iguales o mayores de 15 mm de diámetro por planta, el número y peso de tubérculos totales por planta, el peso seco de tubérculos por planta, el peso seco total por planta y el índice de cosecha. Para determinar estos valores se muestrearon ocho plantas con

competencia completa de cada sistema y repetición y para estimar el peso seco se empleó una estufa de secado de muestras a una temperatura de 75 °C, hasta obtener peso constante (Flores-López *et al.*, 2016). Las determinaciones estadísticas se realizaron con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015).

## Resultados y discusión

### Valores SPAD, índice de área foliar y altura de planta

El índice de verdor (SPAD) de los genotipos resultó relativamente constante para cada uno de los clones a través del ciclo de cultivo y en las tres épocas de siembra, en general, la variedad Citlali tuvo valores SPAD estadísticamente superiores ( $p \leq 0.05$ ) a los registrados para el clon 99-39, lo cual es debido a las características fenotípicas de ambos cultivares, Citlali tiene coloración verde más intensa en su follaje (46.25<sup>a</sup>, 46.96<sup>a</sup> y 46.96<sup>a</sup>) que la tonalidad del clon 99-39 (44.68<sup>b</sup>, 44.85<sup>b</sup> y 44.41<sup>b</sup>), en el análisis combinado.

En el Cuadro 1 se muestran los valores del índice de verdor para la interacción ciclo x sustrato x genotipo; en tanto que el análisis combinado indicó valores SPAD superiores en el sustrato perlita que, en agregados, a los 90 días después de la siembra, en promedio (Cuadro 2), este resultado probablemente se debió a que el suministro de nutrientes fue constante en perlita, mientras que en agregados se proporcionó cada dos días, con valores de 46.79<sup>a</sup> para perlita y 43.48<sup>b</sup> para agregados.

**Cuadro 1. Promedios de valores SPAD en la interacción ciclo x sustrato x genotipo a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. Dos genotipos, dos sustratos y tres épocas de cultivo.**

Ciclo	Sustrato	Genotipo	Índice de verdor (SPAD)		
			30 dds	60 dds	90 dds
Otoño-invierno	Perlita	Clon 99-39	47 <sup>bc*</sup>	46.3 <sup>abc</sup>	47.4 <sup>ab</sup>
		Citlali	45.8 <sup>bcd</sup>	47.3 <sup>ab</sup>	47.4 <sup>ab</sup>
	Agregados	Clon 99-39	47.4 <sup>b</sup>	47.5 <sup>ab</sup>	49.9 <sup>abc</sup>
		Citlali	52.5 <sup>a</sup>	50.7 <sup>a</sup>	51.5 <sup>a</sup>
Primavera-verano	Perlita	Clon 99-39	45.8 <sup>bcd</sup>	46.6 <sup>abc</sup>	44.7 <sup>bcde</sup>
		Citlali	47.5 <sup>b</sup>	47.5 <sup>ab</sup>	47.2 <sup>ab</sup>
	Agregados	Clon 99-39	43 <sup>cde</sup>	43.7 <sup>bc</sup>	41.4 <sup>cde</sup>
		Citlali	42.7 <sup>de</sup>	43.5 <sup>bc</sup>	42.8 <sup>bcde</sup>
Verano-otoño	Perlita	Clon 99-39	47.7 <sup>b</sup>	44 <sup>bc</sup>	46 <sup>abcd</sup>
		Citlali	47.9 <sup>b</sup>	50.1 <sup>a</sup>	48 <sup>ab</sup>
	Agregados	Clon 99-39	37.3 <sup>f</sup>	41.1 <sup>c</sup>	40 <sup>e</sup>
		Citlali	51.2 <sup>ef</sup>	42.8 <sup>bc</sup>	40.7 <sup>de</sup>

\* = valores con distinta letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey.

**Cuadro 2. Análisis combinado. Se muestran valores promedio  $\pm$ error estándar de la media y diferencias estadísticas para las principales variables evaluadas en dos genotipos mexicanos de papa en dos sustratos y tres ciclos de cultivo.**

Variable	Promedio por planta $\pm$ error estándar		Coeficiente de Tukey variación (%) (0.05)	Tukey (0.05)
	Perlita	Agregados (turba+ perlita)		
Valores SPAD 90 dds **	46.79 <sup>a*</sup> $\pm$ 0.36	43.88 <sup>b</sup> $\pm$ 0.96	4.73	0.94
IAF 90 dds	5.96 <sup>a</sup> $\pm$ 5.88	4.67 <sup>b</sup> $\pm$ 0.31	6.41	0.33
Altura de planta 90 dds	80.08 <sup>a</sup> $\pm$ 0	55.96 <sup>b</sup> $\pm$ 0	7.23	2.98
Tubérculos < 15 mm	3.88 <sup>a</sup> $\pm$ 0.41	1.88 <sup>b</sup> $\pm$ 0.24	32.28	0.55
Tubérculos $\geq$ 15 mm	25.08 <sup>a</sup> $\pm$ 3.27	13.67 <sup>b</sup> $\pm$ 2.18	11.23	1.56
Tubérculos totales por planta	29 <sup>a</sup> $\pm$ 3.47	15.46 <sup>b</sup> $\pm$ 2.33	8.56	1.91
Peso fresco de tubérculos por planta	236.05 <sup>a</sup> $\pm$ 21.6	169.58 <sup>b</sup> $\pm$ 12	10.15	8.72
Peso seco de tubérculos por planta	31.36 <sup>a</sup> $\pm$ 2.81	25.82 <sup>b</sup> $\pm$ 2.55	10.21	2.03
Peso seco total por planta	41.97 <sup>a</sup> $\pm$ 4.11	33.73 <sup>b</sup> $\pm$ 3.64	17.43	3.56
Índice de cosecha	0.76 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	0.77 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01	2.86	0.02

\* = valores con distinta letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey; \*\* = días después de la siembra.

El promedio del índice de área foliar de los dos genotipos no resultó estadísticamente diferente, en el análisis combinado a través del ciclo de cultivo; no obstante, cuando se compararon los sustratos evaluados, el valor del IAF en perlita fue superior ( $p \leq 0.05$ ) en perlita (5.96 <sup>a</sup>) que en agregados (4.67 <sup>b</sup>), a los 90 dds (Cuadro 1).

El Cuadro 3 se presenta la respuesta de los genotipos en las tres épocas de cultivo, es evidente que primavera-verano, cuando la temperatura promedio fue mayor (22 °C) las plantas de ambos materiales genéticos mostraron mayor área foliar, en especial cuando se sembraron en perlita.

**Cuadro 3. Promedios de índice de área foliar en la interacción ciclo x sustrato x genotipo a 30, 60 y 90 dds. Dos genotipos, dos sustratos y tres épocas de cultivo.**

Ciclo	Sustrato	Genotipo	Índice de área foliar		
			30 dds	60 dds	90 dds
Otoño-invierno	Perlita	Clon 99-39	2.57 <sup>bc</sup>	4.7 <sup>abcd</sup>	5.79 <sup>bcd</sup>
		Citlali	1.82 <sup>c</sup>	3.66 <sup>de</sup>	5.61 <sup>cd</sup>
	Agregados	Clon 99-39	2.56 <sup>bc</sup>	3.99 <sup>cde</sup>	6.05 <sup>bc</sup>
		Citlali	1.82 <sup>c</sup>	3.52 <sup>de</sup>	5.58 <sup>cd</sup>
Primavera-verano	Perlita	Clon 99-39	3.1 <sup>b</sup>	4.58 <sup>abcd</sup>	6.53 <sup>b</sup>
		Citlali	2.85 <sup>bc</sup>	5.15 <sup>abc</sup>	7.65 <sup>a</sup>
	Agregados	Clon 99-39	2.45 <sup>bc</sup>	4.25 <sup>bcde</sup>	5.38 <sup>cd</sup>
		Citlali	2.55 <sup>bc</sup>	4.55 <sup>abcd</sup>	5.7 <sup>bcd</sup>
Verano-otoño	Perlita	Clon 99-39	4.63 <sup>a</sup>	5.63 <sup>a</sup>	5.13 <sup>d</sup>
		Citlali	2.63 <sup>bc</sup>	3.08 <sup>e</sup>	2.6 <sup>e</sup>

\* = valores con distinta letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey.

La altura de planta tuvo respuesta diferencial para los genotipos; el clon 99-39 tuvo altura promedio de 31<sup>a</sup>, 55<sup>a</sup> y 72<sup>a</sup> cm, contra 28<sup>b</sup>, 50<sup>b</sup> y 64<sup>b</sup> cm, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (Cuadro 4); esa longitud, en centímetros, fue superior estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) cuando el cultivo se hizo en perlita (80<sup>a</sup>) que cuando se efectuó en agregados (56<sup>b</sup>), de acuerdo con los resultados del análisis combinado mostrado en el Cuadro 1. Tanto el índice de área foliar, como la altura de planta fueron estadísticamente superiores en perlita, respecto a los valores registrados en la mezcla de sustratos, probablemente debido a la frecuencia de suministro de la solución nutritiva.

**Cuadro 4. Promedios de altura de planta en la interacción ciclo x sustrato x genotipo a los 30, 60 y 90 días después de la siembra. Dos genotipos, dos sustratos y tres épocas de cultivo.**

Ciclo	Sustrato	Genotipo	Altura de planta (cm)		
			30 dds	60 dds	90 dds
Otoño-invierno	Perlita	Clon 99-39	32.5 <sup>abc*</sup>	48.3 <sup>c</sup>	66 <sup>d</sup>
		Citlali	35 <sup>ab</sup>	43 <sup>cd</sup>	53.8 <sup>de</sup>
	Agregados	Clon 99-39	21.8 <sup>cd</sup>	41 <sup>cde</sup>	52.3 <sup>e</sup>
		Citlali	18 <sup>d</sup>	36.8 <sup>de</sup>	45.8 <sup>e</sup>
Primavera-verano	Perlita	Clon 99-39	37.3 <sup>a</sup>	85.5 <sup>a</sup>	133.8 <sup>a</sup>
		Citlali	31.5 <sup>abc</sup>	77 <sup>ab</sup>	120 <sup>b</sup>
	Agregados	Clon 99-39	33 <sup>ab</sup>	77.3 <sup>ab</sup>	97 <sup>c</sup>
		Citlali	29 <sup>abc</sup>	71.5 <sup>b</sup>	85 <sup>c</sup>
Verano-otoño	Perlita	Clon 99-39	38.3 <sup>a</sup>	46.8 <sup>d</sup>	53.8 <sup>de</sup>
		Citlali	29.5 <sup>abc</sup>	45.5 <sup>cd</sup>	43.3 <sup>de</sup>
	Agregados	Clon 99-39	25.5 <sup>bcd</sup>	30.3 <sup>ef</sup>	29.8 <sup>f</sup>
		Citlali	24.5 <sup>bcd</sup>	23.8 <sup>f</sup>	26 <sup>f</sup>

\*= valores con distinta letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey.

### Producción de tubérculos por planta

De manera general, hubo mayor producción de la papa cuando se cultivó en perlita grado hortícola para ambos cultivares (Cuadro 2). El número de tubérculos menores de 15 mm de diámetro no mostró diferencias estadísticas entre ciclos de producción, pero sí hubo efecto de genotipo, ya que el clon 99-39 produjo, en promedio, 3.8<sup>a</sup> minitubérculos y la variedad Citlali 2<sup>b</sup>. En la interacción ciclo x sustrato, se produjeron más tubérculos pequeños en perlita que en agregados, considerando los tres ciclos.

El hecho de que en perlita la planta produjo más tubérculos de diámetro menor a 15 mm, probablemente se debió a la disponibilidad de nutrientes de forma continua, lo que se cuantificó con el número de tubérculos totales por planta. Lo anterior, coincide con lo señalado por Minhas *et al.* (2004), quienes reportan mayor producción de tubérculos a mayor disponibilidad de asimilados.

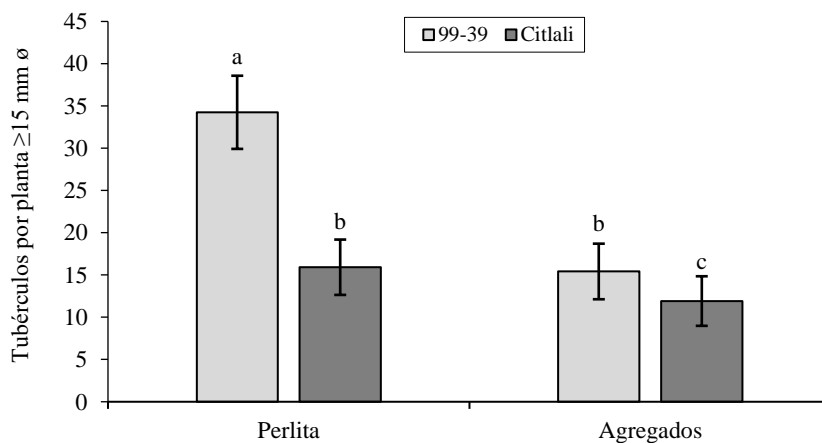
Los genotipos cultivados en perlita grado hortícola, en sistema hidropónico, produjeron en promedio, 25.08 tubérculos iguales o mayores de 15 mm de diámetro por planta, cifra 83% más alta que la registrada en el sustrato agregados (13.67 tubérculos), lo que coincide con lo reportado

por Adams (2004), quien reporta que los rendimientos son menores en sustratos orgánicos que en sustratos inorgánicos en hidroponía, además de considerar el suministro continuo de la solución nutritiva en el sustrato perlita y el abastecimiento de nutrientes cada dos días en el sustrato agregados. El clon 99-39 tuvo una productividad por planta de 24.83 minitubérculos mayores de 15 mm de diámetro, rendimiento estadísticamente superior ( $p \leq 0.05$ ) al obtenido por la variedad Citlali con 13.92 tubérculos por planta; todo ello, en promedio de los tres ciclos y dos sustratos.

Por otro lado, se produjeron más minitubérculos de tamaño igual o mayor a 15 mm de diámetro en el ciclo otoño-invierno 35.06<sup>a</sup>, respecto a lo obtenido en primavera-verano (12<sup>b</sup>) y verano-otoño (11.06<sup>b</sup>), como promedio de los dos cultivares en los dos sustratos. Se sabe que la papa tiene mayor rendimiento cuando la diferencia entre las temperatura máxima y mínima son altas y la temperatura nocturna es menor de 18 °C, lo que ocurrió en el ciclo otoño-invierno, con una media de 15 °C, una máxima de 35 °C y mínima de -2 °C así como la temperatura nocturna es fresca en noviembre y diciembre; coincide con lo señalado por Beukema y Van der Zaag (1990).

Al comparar los tubérculos por planta producidos por los genotipos incluidos en este estudio, se encontró que el clon 99-39 produjo estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) más tubérculos por planta que la variedad Citlali, con 24.83 y 13.92, respectivamente. Asimismo, la respuesta de los genotipos en los tres ciclos de producción, se encontró que el clon 99-39 generó, en promedio por planta, 34 minitubérculos iguales o mayores de 15 mm de diámetro, con perlita; no obstante, la productividad de ese clon se redujo significativamente ( $p \leq 0.05$ ) cuando se cultivó en agregados, en donde solamente produjo 15.41 tubérculos por planta de las dimensiones señaladas (Figura 1), la variedad Citlali produjo por planta 15.9 tubérculos de tamaño igual o mayor de 15 mm de diámetro, cuando se cultivó en perlita y 11.9 en agregados; estas cifras, para el segundo clon fueron estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

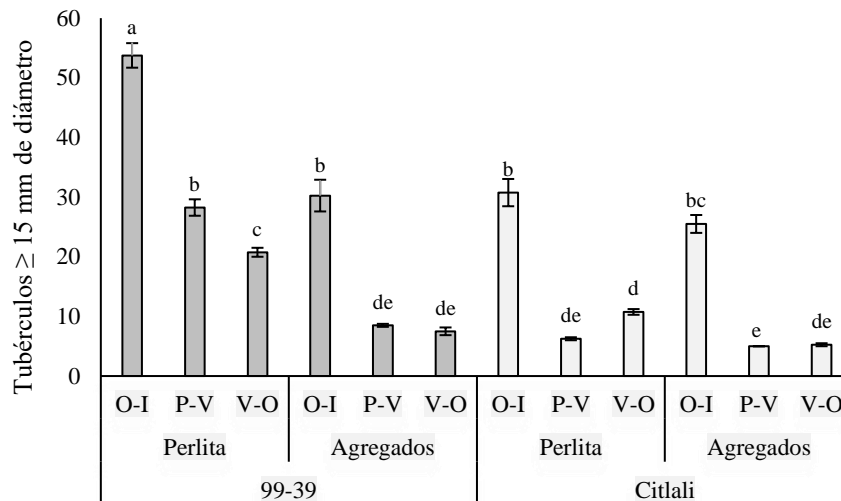
Es importante indicar que los tubérculos con diámetro igual o superior a 15 mm son usados para la siembra en campo, donde se requiere entre 60 y 80 mil unidades para sembrar una hectárea (Flores-López *et al.*, 2014).



**Figura 1. Producción promedio de tubérculos iguales o mayores de 15 mm de diámetro en tres ciclos de cultivo y dos sustratos para la variedad Citlali y el clon mexicano 99-39.**

La interacción ciclo x sistema fue la de mayor impacto, ya que fue notable la respuesta promedio en la producción de minitubérculos de diámetro igual o mayor de 15 mm; así, en el ciclo otoño y perlita los genotipos produjeron 42.25 tubérculos por planta, cifra significativamente mayor a la del resto de combinaciones. Los sustratos agregados en los ciclos primavera y verano mostraron los menores rendimientos, con 6.75 y 6.38 tubérculos por planta, respectivamente; es decir, 6.5 veces menos.

Esta respuesta se evidenció al analizar la interacción ciclo x sustrato x genotipo (Figura 2) donde el clon 99-39 sembrado en el ciclo otoño-invierno rindió 10 veces más que la variedad Citlali sembrada en agregados, tanto en primavera como en verano; sin embargo, el clon 99-39 sembrado en agregados, en primavera y verano no mostró alto potencial de producción de tubérculos, por ello es posible señalar, que el efecto de temperatura es fundamental en la productividad de los materiales y coincide con lo mencionado por Beukema y Van der Zaag (1990) y es también evidente que la respuesta de los cultivares fue diversa en este trabajo realizado en sistema hidropónico y concuerda con lo señalado por Muro *et al.* (1997); Corrêa *et al.* (2008); Tierno *et al.* (2013).



**Figura 2. Efecto de la interacción ciclo x sustrato x genotipo en la producción por planta de minitubérculos mayores o iguales de 15 mm.**

La alta producción del clon 99-39 en invernadero en las dos condiciones de cultivo en comparación con la variedad Citlali, concuerda con lo ocurrido en condiciones de campo, donde este clon tiene un potencial de rendimiento mayor que la variedad Citlali, señalado por (Rubio *et al.*, 2017), quienes mencionan que el clon 99-39 tiene un ciclo de producción de intermedio a tardío, bajo condiciones de campo, con un rendimiento potencial de hasta 80 t ha<sup>-1</sup>, en tanto que la variedad Citlali es un genotipo precoz, con un potencial de rendimiento en campo de 54 t ha<sup>-1</sup>.

Cuando se consideró la producción total de tubérculos por planta (todos los tamaños), el clon 99-39 mostró el mejor rendimiento ( $p \leq 0.05$ ) en el ciclo otoño-invierno, temporada en que la variedad Citlali también obtuvo su mejor rendimiento (34.5 tubérculos), aunque significativamente menor a la obtenida por el clon 99-39 (58 tubérculos); es decir, 68% más tubérculos para 99-39 (Cuadro 5).



**Cuadro 5. Promedios de la producción de tubérculos totales por planta en la interacción ciclo x sustrato x genotipo.**

Ciclo	Sustrato	Genotipo	Tubérculos por planta
Otoño-invierno	Perlita	Clon 99-39	58 <sup>a*</sup> ±2.48
		Citlali	34.5 <sup>b</sup> ±2.96
	Agregados	Clon 99-39	33.5 <sup>b</sup> ±2.9
		Citlali	27.5 <sup>c</sup> ±1.66
Primavera-verano	Perlita	Clon 99-39	34.3 <sup>b</sup> ±1.65
		Citlali	8 <sup>de</sup> ±0.41
	Agregados	Clon 99-39	10.8 <sup>de</sup> ±0.63
		Citlali	6.3 <sup>e</sup> ±0.25
Verano-otoño	Perlita	Clon 99-39	26.3 <sup>c</sup> ±0.95
		Citlali	13 <sup>d</sup> ±0.58
	Agregados	Clon 99-39	8.5 <sup>de</sup> ±0.65
		Citlali	6.3 <sup>e</sup> ±0.25

\* = valores con distinta letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey.

El genotipo 99-39 en otoño y sembrado en perlita produjo 58 tubérculos por planta, el mismo clon sembrado en primavera con perlita obtuvo 34.3 y en 26.3. Ese clon sembrado en agregados rindió 33.5 tubérculos por planta en otoño, Sin embargo, su respuesta en agregados fue de 33.5 tubérculos por planta en otoño, pero solamente 10.8 en primavera y 8.5 en verano. La variedad Citlali mostró una producción de 34.5 tubérculos por planta cuando se cultivó en perlita, en el ciclo otoño-invierno, 8 en primavera y 6.3 en verano, mientras que en agregados rindió 27.5 tubérculos por planta, cuando se cultivó en agregados en otoño y 6.3 en primavera y en verano.

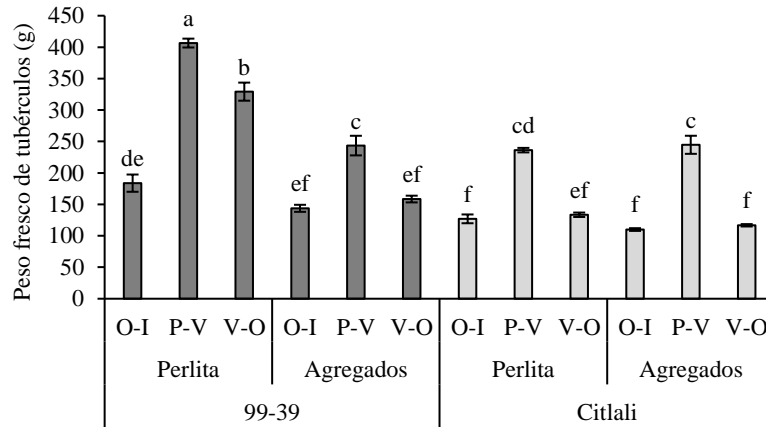
En este estudio, el ciclo de cultivo más productivo fue el de otoño-invierno 2015-2016, las condiciones de temperaturas frías por la noche y la diferencia entre la máxima y mínima diaria favoreció la movilización de fotoasimilados hacia los tubérculos, en concordancia con lo señalado por Beukema y Van der Zaag (1990) y la mayor producción de estolones.

### Peso de tubérculos e índice de cosecha

El peso fresco de tubérculos por planta mostró resultados contrastantes respecto al número de tubérculos por planta, el valor del coeficiente de correlación de Pearson entre estas variables fue de 0.08 y sin significancia estadística. En ese sentido, la comparación de medias para ciclos de cultivo mostró que en primavera-verano se obtuvo el mayor peso de tubérculos por planta, con 283<sup>a</sup> gramos, en verano-otoño el promedio fue de 185<sup>b</sup> g y en otoño-primavera de 141<sup>c</sup> gramos por planta. Entre sustratos la respuesta fue similar a la observada en el número de tubérculos con 236<sup>a</sup> gramos en perlita y 170<sup>b</sup> gramos en agregados.

Al considerar la interacción ciclo x genotipo, la respuesta en peso fresco resultó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) superior para primavera y el clon 99-39 (325<sup>a</sup> g), que superó a la variedad Citlali sembrada en el ciclo otoño que obtuvo 119<sup>d</sup> gramos. La interacción ciclo x sustrato x genotipo (Figura 3) muestra el comportamiento diferencial de los materiales en estudio. Con ello es evidente

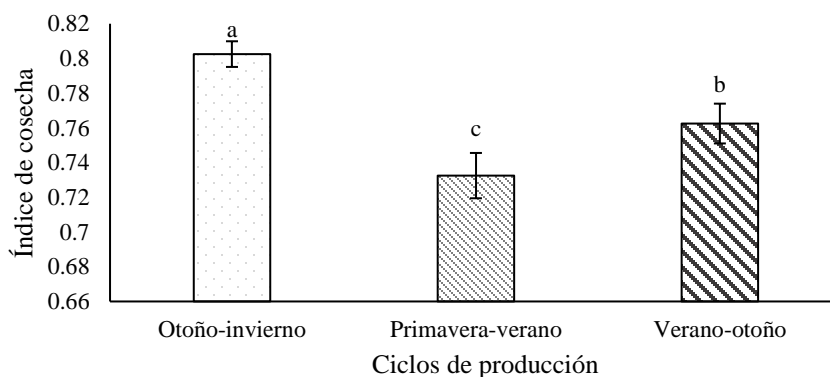
que la producción de más tubérculos no necesariamente repercute en mayor peso de ellos, hecho que se contrapone a lo señalado por Beukema y Van der Zaag (1990), pero que, aparentemente tiene relación con la respuesta diferencial de los genotipos de papa y sus interacciones en el cultivo hidropónico (Muro *et al.*, 1997; Corrêa *et al.*, 2008; Tierno *et al.*, 2013).



**Figura 3. Efecto de la interacción ciclo x sustrato x genotipo en el peso fresco de tubérculos por planta de dos genotipos de papa.**

Además, debe considerarse que los tubérculos de la variedad Citlali son de mayor tamaño, debido a la precocidad de ese cultivar. El peso de los tubérculos del clon 99-39, en general fue menor, a lo mejor debido a que solamente se cultivaron por 90 días, cuando su ciclo es de al menos 110 días, por ello, sus tubérculos, aunque en buen número, aún podrían ganar mayor peso; especialmente en el ciclo otoño-invierno, cuando las plantas tienden a tener un ciclo más tardío y este hecho sí coincide con lo reportado por Beukema y Van der Zaag (1990).

En cuanto al peso seco de tubérculos por planta, el análisis combinado mostró resultados similares a los de peso fresco de tubérculos, por ello, el coeficiente de correlación de Pearson entre estas variables fue de 0.94 ( $p < 0.0001$ ). En relación con el índice de cosecha, las diferencias estadísticas de mayor cuantía se encontraron al comparar los valores obtenidos en los tres ciclos de producción (Figura 4). En el ciclo otoño-invierno se obtuvo el mayor índice de cosecha (0.8), le siguió el del ciclo verano-otoño (0.76) y el de menor cuantía fue el del ciclo primavera-verano (0.73).



**Figura 4. Índice de cosecha promedio de dos genotipos mexicanos de papa en tres ciclos de cultivo y dos sustratos.**

Estos valores se asociaron estrechamente a las temperaturas registradas en los diferentes ciclos de producción; a menor temperatura, mayor índice de cosecha; ello corresponde a lo observado por Flores-Gutiérrez *et al.* (2018) y mencionado por Beukema y van der Zaag (1990). Los valores de índice de cosecha de la variedad Citlali y el clon 99-39 en dos sustratos y tres ciclos de cultivo se presentan en la Figura 5. Aunque en el análisis de sustratos y de genotipos no hubo significancia estadística, si la hubo en la interacción señalada, por lo que el ambiente probablemente sea el factor de mayor efecto en la acumulación de peso seco en los tubérculos.

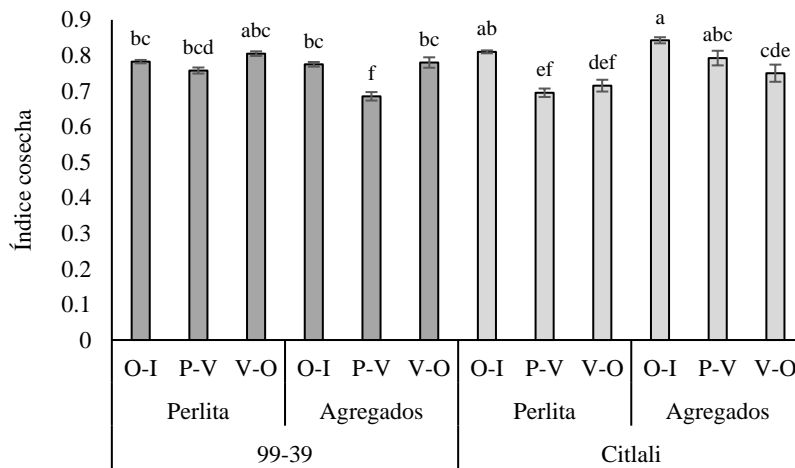


Figura 5. Índice de cosecha en la interacción genotipo x ciclo por sustrato

## Conclusiones

El sistema de producción en Perlita e hidroponía fue más eficiente con respecto al agregado debido a su condición inerte, mayor aireación y disposición continua de nutrientes. El potencial productivo de cada genotipo se expresó en invernadero, donde el clon 99-39 resultó mejor que la variedad Citlali.

La estación del año afecta fuertemente la respuesta en número de tubérculos por planta en papa en invernadero e hidroponía. Los resultados aquí obtenidos permitirán tomar decisiones respecto al manejo de la producción de tubérculo semilla de la categoría prebásica II en ambos genotipos.

## Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por facilitar instalaciones, material genético, insumos y recursos para la conducción de este trabajo. Al Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de México por el soporte académico en la realización de esta investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido.

## Literatura citada

- Adams, P. 2004. Aspectos del manejo de los diferentes sustratos, su composición, elección y factores medioambientales a considerar. *In*: Urrestarazu, G. M. (Coord.). Tratado de cultivos sin suelo 3ª Ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 241-250 pp.
- Arellano, G. M. A.; Villavicencio, G. E. E. y García, G. S. J. 2010. Producción de plántulas y semilla prebásica de variedades comerciales de papa libres de enfermedades. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. Folleto técnico núm. 41. 46 p.
- Beukema, H. P. and Van der Zaag, D. E. 1990. Introduction to potato production. Wageningen. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (PUDOC III). Wageningen, The Netherlands. Book NUGI 835. ISBN 90-220-0963-7.
- Chang, D. C.; Choo II, C.; Suh, J. T.; Kim, S. J. and Lee, Y. B. 2011. Growth and yield response of three aeroponically grown potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to different electrical conductivities of nutrient solution. *Am. J. Potato Res.* 88(6):450-458. Doi 10.1007/s12230-011-9211-6.
- Chang, D. C.; Park, C. S.; Kim, S. Y. and Lee, Y. B. 2012. Growth and tuberization of hydroponically grown potatoes. *Potato Res.* 55(1):69-81. Doi 10.1007/s11540-012-9208-7.
- Corrêa, R. M.; Pinto, J. E. B. P.; Faquin, V.; Pinto, C. A. B. P. and Reis, E. S. 2009. The production of seed potatoes by hydroponic methods in Brazil. *Fruit, vegetable and cereal science and biotechnology.* Global Science Books. 133-139 pp.
- Corrêa, R. M.; Pinto, J. E. B. P.; Pinto, C. A. B. P.; Faquin, V.; Reis, E. S.; Monteiro, A. B. and Dyer, W. E. 2008. A comparison of potato seed tuber yields in beds, pots and hydroponic systems. *Sci. Hortic.* 116(1):17-20.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. 2015. Grupo InfoStat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 102-111 pp.
- Farran, I. and Mingo C. M. 2006. Potato minituber production using aeroponics: Effect of plant density and harvesting intervals. *Am. J. Potato Res.* 83(1):47-53.
- Flores-Gutiérrez, F. X.; Flores-López, R.; Mora-Herrera, M. E. y Franco-Mora, O. 2018. Respuesta del clon mexicano 99-39 a potasio en hidroponía e invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(6):1123-1135.
- Flores-López, R.; Rubio-Covarrubias, O. y Sotelo-Ruiz, E. 2014. Manual de producción de papa apta para siembra en Invernaderos rústicos. INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro. Sitio Experimental Metepec, Zinacantepec, Estado de México. Folleto técnico. núm. 1. 44 p.
- Flores-López, R.; Sotelo-Ruiz, E.; Rubio-Cobarrubias, O.; Álvarez-González, A. y Marín-Casimiro, M. 2016. Niveles de NPK para la producción de minitubérculos de papa en invernadero en el Valle de Toluca. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(5):1131-1142.
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Zinacantepec, México. Clave Geoestadística 15118. INEGI, México, DF.
- Lommen, W. J. M. 2008. The canon of potato science: 27. Hydroponics. *Potato Res.* 50(3):315-318. Doi 10.1007/s11540-008-9053-x.
- Mateus-Rodríguez, J. R.; De Haan, S.; Andrade-Piedra, J. L.; Maldonado, L.; Hareau, G.; Barker, I.; Chuquillanqui, C; Otazú, V.; Frisancho, R.; Bastos, C.; Pereira, A. S.; Medeiros, C. A. and Montesdeoca, F. 2013. Technical and economic analysis of aeroponics and other systems for potato mini-tuber production in Latin America. *Am. J. Potato Res.* 90(4):357-368.

- Medeiros, C. A. B.; Ziemer, A. H.; Daniels, J. E.; Pereira, A. S. 2002. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. *Hortic. Brasileira*. 20(1):110-114.
- Minhas, J. S.; Rai, V. K. and Saini, H. S. 2004. Carbohydrate metabolism during tuber initiation in potato: a transient surge in invertase activity marks the srolon to tuber transition. *Potato Res.* 47(3-4):113-126.
- Muro, J.; Díaz, V.; Goñi, J. L. and Lamsfus, C. 1997. Comparison of hydroponic culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutrient solution and plant density on seed potato yields. *Potato Res.* 40(4):431-438.
- Patrón, I. J. C. 2014. Sustratos orgánicos alternativos para la producción de tubérculo-semilla de papa en invernadero. Tesis de Doctor en Ciencias. Posgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 41-48 pp.
- Resh, H. M. 2006. Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. España. 230-233 pp.
- Ritter, E.; Angulo, B.; Riga, P.; Herrán, C.; Relloso, M. and San Jose, M. 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Res.* 44(2):127-135.
- Rolot, J. L. and Seutin, H. 1999. Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. *Potato Res.* 42(3-4):457-469.
- Rubio, C. O.; Cadena, H. M. A.; Flores, L. R.; Vázquez, C. G.; Díaz, V. M.; Valenzuela, V. J. M.; Parga, T. V. M.; Rocha, R. R. y López, D. H. 2017. Citlali variedad de papa tolerante a punta morada. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Sitio Experimental Metepec. Folleto técnico núm. 3. 28 p.
- Rubio, C. O.; Rangel, G. J. A.; Flores, L. R.; Magallanes, G. J. V.; Díaz, H. C.; Zavala, Q. T.; Rivera, P. A.; Cadena, H. M.; Rocha, R. R.; Ortiz, T. C.; López, D. H.; Díaz, V. M. y Paredes, T. A. 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del Centro de México. SAGAR. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México. México. Libro técnico núm. 1. 79 p.
- SENASICA. 2015. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Norma Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002. Requisitos y especificaciones fitosanitarios para la producción de material propagativo asexual de papa. [www.senasica.gob.mx/doc=621](http://www.senasica.gob.mx/doc=621).
- SMN. 2017. Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua. Observatorio Meteorológico 76675. Centro de Previsión Meteorológica Toluca. [smn.cna.gob.mx/emas/txt/mx40-10M.TXT](http://smn.cna.gob.mx/emas/txt/mx40-10M.TXT).
- Struik, P. C. 2008. The canon of potato science: 25. Minitubers. *Potato Res.* 50(3):305-308. Doi: 10.1007/s11540-008-9051-z.
- Tierno, R.; Carrasco, A. and Ritter, E. 2013. Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture. *Am. J. Potato Res.* Published online: Doi 10.1007/s12230-013-9354-8.
- Urrestarazu, G. M. 2013. State of the art and new trends of soilless culture in Spain and in emergent countries. International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis. *Acta Hortic.* 1013(37):305-312. Doi: 10.17660/ActaHortic.2013.1013.37.
- Wheeler, R. M.; Hinkle, R. C.; Mackowiak, C. L.; Sager, J. C. and Knott, W. M. 1990. Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). *Am. Potato J.* 67(3):177-187.