



DENSIDADES DE POBLACIÓN Y DOSIS DE FERTILIZACIÓN N-P-K EN PAPA VARIEDAD CITLALI EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

PLANT DENSITIES AND N-P-K FERTILIZATION DOSES IN POTATO VARIETY CITLALI AT THE TOLUCA VALLEY, MEXICO

Oswaldo A. Rubio-Covarrubias¹, Román Flores-López^{2*},
Erasto Domingo Sotelo-Ruíz² y Humberto Antonio López-Delgado²

¹Ex-investigador del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). ²INIFAP, Sitio Experimental Metepec, Zinacantepec, México.

*Autor de correspondencia (flores.roman@inifap.gob.mx)

RESUMEN

La densidad de plantas y la nutrición son factores que influyen en el rendimiento y la calidad del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.). El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la dosis de fertilización y densidad de población en papa, variedad Citlali, en el rendimiento total y ponderado de tubérculos. Se probaron tres niveles de fertilización: 200-200-200, 280-280-280 y 360-360-360 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente; tres densidades de población: 45,000, 55,000 y 65,000 plantas ha⁻¹ durante los ciclos agrícolas de 2016 y 2017. Los resultados indicaron que el rendimiento ponderado fue poco afectado por niveles de densidad mayores de 45,000 plantas ha⁻¹ y dosis de fertilización mayores de 200-200-200 kg ha⁻¹ N-P₂O₅-K₂O; además, se observó que las densidades más altas incrementaron el rendimiento, pero causaron un decremento en el tamaño de los tubérculos. En 2016, el tratamiento con 65,000 plantas ha⁻¹ y 280 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O obtuvo el mayor rendimiento por hectárea con 46 toneladas y un ingreso neto de \$116,160 pesos mexicanos (MXN). En 2017, el tratamiento de 55,000 plantas ha⁻¹ y 200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O obtuvo el mayor rendimiento con 55.37 t ha⁻¹ y un ingreso neto de \$173,252 MXN. La densidad óptima se encontró entre 45,000 y 55,000 plantas ha⁻¹ y los rendimientos y ganancia neta fueron variables y dependieron de la fertilidad de los suelos.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, calidad de tubérculo, ingreso neto, rendimiento.

SUMMARY

Plant density and nutrition are factors that influence yield and quality of potato tuber (*Solanum tuberosum* L.). The objective of this research was to determine the effect of the fertilization dose and plan density in potato, Citlali variety, on total and weighted yield of tubers. Three fertilization levels were tested: 200-200-200, 280-280-280 and 360-360-360 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅-K₂O, respectively, three plant densities: 45,000, 55,000 and 65,000 plants ha⁻¹ during 2016 and 2017 agricultural cycles. Results indicated that weighted yield was insignificantly affected by density levels higher than 45,000 plants ha⁻¹ and fertilization doses higher than 200-200-200 kg ha⁻¹ N-P₂O₅-K₂O; in addition, higher densities were observed to increased yield, but they caused a decrease in tuber size. In 2016, treatment with 65,000 plants ha⁻¹ and 280 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅-K₂O achieved the highest yield per hectare with 46 tons and a net income of \$116,160 Mexican pesos (MXN). In 2017, treatment of 55,000 plants ha⁻¹ and 200 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅-K₂O achieved the highest yield with 55.37 t ha⁻¹ and a net income of \$173,252 MXN. The optimal density was found between 45,000 and 55,000 plants ha⁻¹ and yields and net gain were variable and depended on soil fertility.

Recibido: 10 de abril de 2023

Aceptado: 07 de junio de 2024

Index words: *Solanum tuberosum*, net income, tuber quality, yield.

INTRODUCCIÓN

La producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) depende de varios factores, entre los que destacan densidad de población y nutrición del cultivo (Fernandes *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2014). En la región productora de papa en el valle de Toluca, Estado de México, los agricultores emplean dosis altas de fertilización y densidad de población, en parte por desconocimiento, y porque buscan una buena apariencia de las plantas. Se aplican dosis excesivas de fertilizantes, sobre todo de N-P-K (>350 kg ha⁻¹), que provocan gran desarrollo vegetativo e incrementan el índice de área foliar (Job *et al.*, 2019); asimismo, siembran a altas densidades porque obtienen más follaje, al que asocian con alto rendimiento (Villa *et al.*, 2017). Los agricultores con mayores recursos económicos combinan altas densidades, altas dosis de fertilización y uso excesivo de agroquímicos, con base en el razonamiento de que a mayor número de plantas se requiere mayor cantidad de nutrientes; sin embargo, esta relación tiene un punto óptimo que debe ser definido en cada región productora de papa para variedades específicas y bajo las condiciones ambientales predominantes; además, el clima es responsable de la proliferación de plagas y enfermedades que afectan el rendimiento.

Existe un amplio consenso en la literatura en señalar que las dosis excesivas de nitrógeno promueven el desarrollo vegetativo, alargan el ciclo de cultivo, y disminuyen el rendimiento y calidad de los tubérculos (Miller y Rosen, 2005). En la región productora de papa del Valle de Toluca, México se han definido dosis óptimas de fertilización para diferentes agrosistemas (Rubio *et al.*, 2012). Estos estudios han demostrado que aplicaciones de nitrógeno mayores de 220 kg ha⁻¹ son innecesarias; sin embargo, varios agricultores sobrepasan las dosis recomendadas;

DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.3.269>

por tal motivo, esta investigación evaluó dosis mayores para fundamentar dicha práctica. En estudios realizados en el noroeste de Europa la dosis óptima de nitrógeno, desde el punto de vista económico, cae en el intervalo de 150-250 kg ha⁻¹ con la que se obtienen rendimientos superiores a 40 t ha⁻¹ (Vos, 2009). Obviamente, la dosis óptima de fertilización en cada sitio depende de diversos factores relacionados con el clima, la variedad de papa y la fertilidad del suelo, principalmente.

En relación con la densidad de población, se han efectuado estudios que mencionan una gran diversidad de resultados. La densidad óptima se ha reportado en 35,625 (Bohl *et al.*, 2011), 40,000 (Lynch y Rowberry, 1977), 43,000 (Negero, 2017), 54,000 (Dyer, 2019), 55,000 (Nasir y Akassa, 2018) y 66,700 plantas ha⁻¹ (Getie *et al.*, 2015). En general, se ha observado que entre más pequeña es la semilla usada se debe utilizar mayor densidad de plantas. Esta relación fue demostrada con los trabajos de Bohl *et al.* (2011), quienes observaron que no hubo diferencia en rendimiento cuando se utilizó la misma cantidad de semilla (2.28 t ha⁻¹) y variación del tubérculo-semilla de 42 a 85 g, mientras Ebrahim *et al.* (2018) mencionaron que el tamaño de semilla más grande influye en la cantidad de tallos y en el rendimiento. Otra observación que se puede generalizar de los estudios sobre densidad de plantación es la tendencia a disminuir el tamaño de los tubérculos producidos conforme aumenta la densidad (Shayanowako *et al.*, 2015). Por otro lado, Oliveira (2000) mencionó que con una densidad de 76,200 plantas ha⁻¹ sólo el 32 % de la materia seca se destinó a los tubérculos. En general, se ha demostrado un mejor estado nutricional de plantas a menor densidad de plantación (De Almeida *et al.*, 2018).

Se han realizado varios estudios de fertilización y densidad de población en diversos países con variedades de papa muy específicas y condiciones climáticas propias de cada sitio (Bohl *et al.*, 2011; Dyer, 2017). En la región productora de papa de Toluca, México se tiene la necesidad de trabajos de investigación que orienten a los agricultores sobre la mejor combinación de estos dos factores de la producción, sobre todo para variedades tolerantes a enfermedades, de ciclos precoces a intermedios y adaptadas a días cortos, como es el caso de la variedad Citlali. La utilización adecuada de la dosis de fertilización y la densidad de planta permitiría optimizar las ganancias y también ayudaría a disminuir la contaminación del suelo y del agua. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la dosis de fertilización y densidad de siembra en papa, variedad Citlali, en el rendimiento total y ponderado de tubérculos en el valle de Toluca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

En 2016 y 2017 se realizaron dos experimentos de campo en Metepec, Estado de México, México. Esta área se ubica en el valle de Toluca, México, considerada el centro de origen del tizón tardío y con alta incidencia de *Bactericera cockerelli*, que transmite la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, causante del síndrome de punta morada o zebra chip (Rubio *et al.*, 2017).

Los suelos de ambos sitios experimentales presentan las características descritas en el Cuadro 1, de acuerdo con el análisis del laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Se observa que se trata de Andosoles ácidos, con altos contenidos de P y K, los cuales están fijados en el complejo de intercambio y no están disponibles para las plantas, por lo que hay que aplicar la dosis completa para el cultivo (IUSS Working Group WRB, 2015), en este caso, 200-300-200 (N-P₂O₅-K₂O kg ha⁻¹). Se observa que en el suelo de 2017 la capa de 0-30 cm es más rica en materia orgánica, nitrógeno inorgánico, potasio, calcio y magnesio que el suelo de 2016. El nitrógeno, fósforo y potasio son los elementos que la planta de papa absorbe en mayor cantidad, seguidos por calcio y magnesio (Westermann, 2005). Las características del suelo superficial (0-30 cm) son determinantes en el cultivo, ya que la planta desarrolla un sistema radicular corto y concentra raíces a menos de 24 cm de la parte alta del surco (Muñoz-Arboleda *et al.*, 2006).

Tratamientos y diseño experimental

Las fechas de siembra fueron el 8 de junio en 2016 y el 2 de junio en 2017. Se evaluaron tres niveles de fertilización y tres niveles de densidad de siembra en un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial completo con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental, consistió en tres surcos de 4 m de largo y 0.8 m de ancho. Los niveles de fertilización cubrieron el intervalo desde una dosis normal de NPK (200-200-200), una dosis alta (280-280-280) y una dosis excesiva (360-360-360). Los niveles de densidad de población fueron 45,000, 55,000 y 65,000 plantas ha⁻¹, estas densidades se obtuvieron sembrando los tubérculos-semilla a 27.8, 22.7 y 19.2 cm de separación, respectivamente. Los tubérculos-semilla usados fueron de tamaño de tercera (50-60 g); adicionalmente, se incluyó un tratamiento testigo sin fertilizante con una densidad de siembra de 55,000 plantas ha⁻¹. Se utilizó la variedad de papa Citlali, la cual es de ciclo precoz, porte medio, tolerante al manchado interno del tubérculo y tolerante al tizón tardío de la papa (Rubio *et al.*, 2017).

Las diferentes dosis de fertilización se obtuvieron mezclando nitrofosfato de amonio (33.5-3-0), difosfato de amonio (18-46-0) y cloruro de potasio (0-0-60). También se agregó a todos los tratamientos 50 kg ha⁻¹ de una mezcla comercial de elementos menores (Micromix®). Todo el fertilizante de las diferentes dosis se aplicó al momento de la siembra depositándolo en el fondo del surco antes de sembrar la semilla.

Manejo de los experimentos

El control de plagas y enfermedades se hizo combinando un fungicida y un insecticida, en un total de ocho aplicaciones, cada uno de los productos se aplicó en dos ocasiones, los fungicidas fueron Propamocarb (1.5 L ha⁻¹), Clorotaniil (2.5 kg ha⁻¹), Metalaxil (2.5 kg ha⁻¹), Cymoxanil (2.5 kg ha⁻¹) y en el caso de insecticidas se utilizó Permetrina (0.4 L ha⁻¹), Dimetoato (0.5 L ha⁻¹), Abamectina (0.5 L ha⁻¹) y Pyriproxyfen (0.5 kg ha⁻¹), que son los convencionales para el control de tizón tardío y *Bactericera cockerelli* en el Valle de Toluca.

El abastecimiento de agua para las plantas dependió únicamente de la lluvia. En 2016, la precipitación total de junio a septiembre fue de 500 mm y en 2017 fue de 550 mm. Estas cantidades de lluvia fueron suficientes para satisfacer la demanda del cultivo en los dos ciclos sin sufrir deficiencias hídricas.

Tres meses después de la fecha de siembra, en cada año, se aplicó desecante químico y tres semanas después se realizó la cosecha. Los tubérculos se clasificaron en tres categorías definidas por su peso: 50-100, 100-180 y

mayores de 180 g, las cuales corresponden a la definición comercial de tercera, segunda y primera categoría, respectivamente.

Variables respuesta

Las variables analizadas fueron rendimiento de tubérculos en cada una de las tres categorías comerciales y rendimiento total (t ha⁻¹).

Análisis estadístico y análisis económico

Se analizó el efecto simple de cada uno de los dos factores (densidad y fertilización) y de densidad por fertilización, e interacciones, lo cual se hizo mediante un análisis de varianza con el procedimiento PROC ANOVA y comparación de medias (Tukey, P ≤ 0.05), ambos con el programa SAS (SAS Institute, 2018).

El análisis económico se realizó con base en el rendimiento ponderado, análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, P ≤ 0.05), el cual se calculó considerando el precio del fertilizante, semilla, insecticidas, fungicidas y los trabajos de campo como gastos variables de cada tratamiento, así como el costo comercial de los tubérculos producidos en cada uno de sus tres tamaños. Debido a que el precio de venta de los tubérculos en el mercado varía de acuerdo con su tamaño, el rendimiento ponderado se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento Ponderado} = (\text{Rend. 1}^{\text{a}} \times 1.0) + (\text{Rend. 2}^{\text{a}} \times 0.8) + (\text{Rend. 3}^{\text{a}} \times 0.6)$$

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelos, de los dos sitios experimentales en Metepec, Estado de México de 2016 y 2017.

Parámetro	2016		2017	
	0-30 cm	Interpretación	0-30 cm	Interpretación
Textura	Franco arenoso		Franco arenoso	
pH (1:2 agua)	5.4	Fuert. Ácido	4.8	Fuert. Ácido
MO (%)	0.81	Mod. Bajo	1.05	Mod. Bajo
N-inorg (ppm)	6.07	Mod. Bajo	13.2	Mediano
P-Bray (ppm)	97.4	Muy Alto	35.8	Mod. Alto
K (ppm)	68.5	Bajo	288	Mod. Alto
Ca (ppm)	1487	Mod. Bajo	1561	Mediano
Mg (ppm)	161	Mod. Bajo	248	Mediano

Fuert. Ácido: fuertemente ácido, Mod. Bajo: moderadamente bajo, Mod. Alto: moderadamente alto.

Donde: Rend. 1ª = Rendimiento de tubérculos de primera categoría en t ha⁻¹, Rend. 2ª = Rendimiento de tubérculos de segunda categoría en t ha⁻¹, Rend. 3ª = Rendimiento de tubérculos de tercera categoría en t ha⁻¹.

En esta fórmula, los factores 1.0, 0.8 y 0.6 multiplicados por los rendimientos clasificados por el tamaño de los tubérculos en primera, segunda y tercera categoría, provienen del precio relativo de los tubérculos en el mercado; es decir, las primeras valen el 100 %, las segundas el 80 % de las primeras y las terceras valen el 60 % de las primeras. El precio comercial de los tubérculos en el mercado considerado en ambos años fue de \$ 5.00 pesos mexicanos (MXN) por kilogramo. Con el rendimiento ponderado calculado se obtuvo el rendimiento óptimo económico (t ha⁻¹), el cual es el que tuvo los costos más bajos de producción, el rendimiento más alto y las mayores ganancias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

El análisis de varianza del rendimiento total y ponderado se presenta en el Cuadro 2. Aquí se indica que en 2016 hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el factor densidad en las dos formas de expresar el rendimiento. No hubo efecto de los niveles de fertilización, lo cual se atribuye a las propiedades y a los contenidos de elementos en el suelo. El efecto de la interacción densidad por fertilización resultó significativo ($P \leq 0.05$) debido a la demanda mayor por la alta densidad de planta. En 2017, los efectos simples de los factores de densidad y de fertilización presentaron diferencias significativas sobre el rendimiento total y sobre el rendimiento ponderado; sin embargo, la interacción de ambos factores no fue significativa.

Efecto de los factores principales

Se analizaron los efectos simples de fertilización (Figura 1) y densidad de siembra (Figura 2) mediante un análisis de medias. En el rendimiento total en 2016 (Figura 1A) se observa que no hubo respuesta al aumento de las dosis de fertilización; es decir, entre las dosis de 200 a 360 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) en rendimiento. En ese año, el rendimiento máximo fue de 45 t ha⁻¹ con 200 kg ha⁻¹ de fertilización NPK. En 2017 (Figura 1B), el mayor rendimiento fue de 55.5 t ha⁻¹, con 200 kg ha⁻¹ de fertilización NPK; al aumentar la dosis de fertilización de 200 a 280 y 360 kg ha⁻¹ no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en rendimiento.

Con respecto a la densidad de población para los dos años, no se presentaron diferencias significativas en rendimiento ($P > 0.05$) con el aumento de la densidad de población. En 2016 (Figura 2A) se observó un ligero aumento en rendimiento, al pasar de una densidad de 55,000 a 65,000 plantas por ha; en 2017 no se observa una disminución significativa del rendimiento al aumentar la densidad a 65,000 plantas por ha (Figura 2B).

Estos resultados indican que las dosis mayores de 200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O fueron excesivas, debido a que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dosis evaluadas, lo que coincide con estudios previos realizados en el cultivo de papa en el Valle de Toluca, en los cuales se observó que las aplicaciones mayores de 220 kg ha⁻¹ de nitrógeno son innecesarias (Rubio *et al.*, 2012). También lo soportan otros estudios donde se ha demostrado que las dosis excesivas de fertilizantes (N-P-K > 350 kg ha⁻¹), principalmente nitrogenados, aumentan el desarrollo foliar de la planta en detrimento del rendimiento y calidad de tubérculos, debido a que altera la distribución de fotosintatos entre la parte aérea y subterránea de la planta (Miller y Rosen, 2005).

Cuadro 2. Cuadrados medios del rendimiento total (t ha⁻¹) y rendimiento ponderado de tubérculos en los años 2016 y 2017.

Fuente de variación	2016		2017	
	Rendimiento total	Rendimiento ponderado	Rendimiento total	Rendimiento ponderado
Densidad (D)	3.61*	3.71*	5.79**	5.47*
Fertilización (F)	0.04	0.14	4.72*	5.04*
D × F	2.35	2.89*	0.28	0.11
Repeticiones	0.02	0.06	44.5**	50.5**

D × F. densidad x fertilización, *: significancia $P \leq 0.05$, **: significancia $P \leq 0.01$.

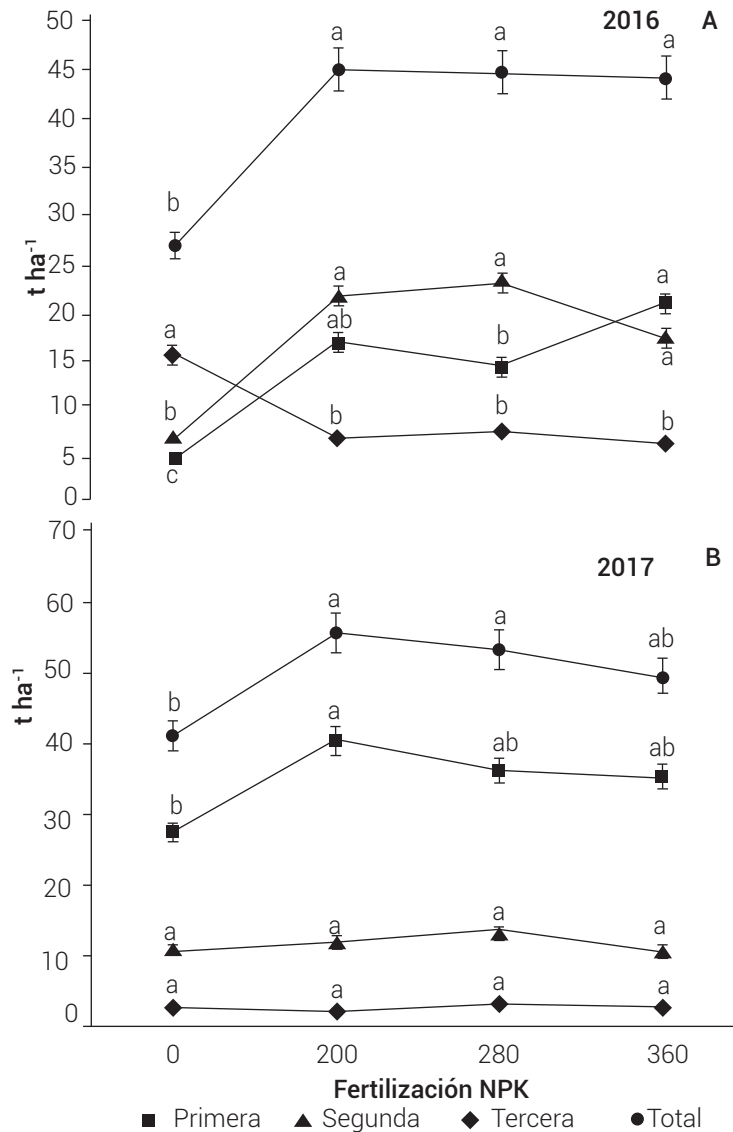


Figura 1. Rendimiento medio de tubérculos de papa en tres categorías y rendimiento total ($t\ ha^{-1}$) en función de cuatro dosis de fertilización obtenidos en 2016 (A) y 2017 (B). Tukey $P \leq 0.05$.

La mayor fertilidad del suelo de 2017 implica menores requerimientos de fertilizantes y mayor riesgo de afectar el rendimiento con dosis excesivas; esto se nota porque se obtuvo un mayor rendimiento total de tubérculos en los tratamientos testigo sin fertilizante (Figura 1), de $41.0\ t\ ha^{-1}$ en 2017, comparados con el obtenido en 2016 ($28.5\ t\ ha^{-1}$). La mayor fertilidad del suelo en 2017 se advierte en los resultados del análisis químico del mismo (Cuadro 1).

Los resultados de rendimiento de las tres categorías de tubérculos en función de los niveles de fertilización en 2017 (Figura 1A) indicaron que obtuvo predominio la categoría de primera; en cambio, en 2016 (Figura 1B) fue la categoría de segunda. Estos resultados también están relacionados con las diferencias en fertilidad de los dos suelos ya explicadas

anteriormente. En general, la Figura 1 muestra que el rendimiento de las tres categorías de tubérculos siguió la misma tendencia que el rendimiento total.

El efecto de los tres niveles de densidad de plantación sobre el rendimiento total y de cada tamaño de tubérculo en 2016 se presenta en la Figura 2A, donde se puede apreciar que hubo diferencias significativas en rendimiento total ($P \leq 0.05$) al pasar de 55,000 a 65,000 plantas ha^{-1} . El mayor rendimiento, de $49\ t\ ha^{-1}$ con 55,000 plantas, se debió al aumento de la producción de los tubérculos de segunda; además, se observa que la cantidad de los tubérculos de primera sufrió un ligero decremento en este mismo intervalo de densidad. Estos resultados concuerdan con los reportados por otros investigadores (Bohl *et al.*, 2011;

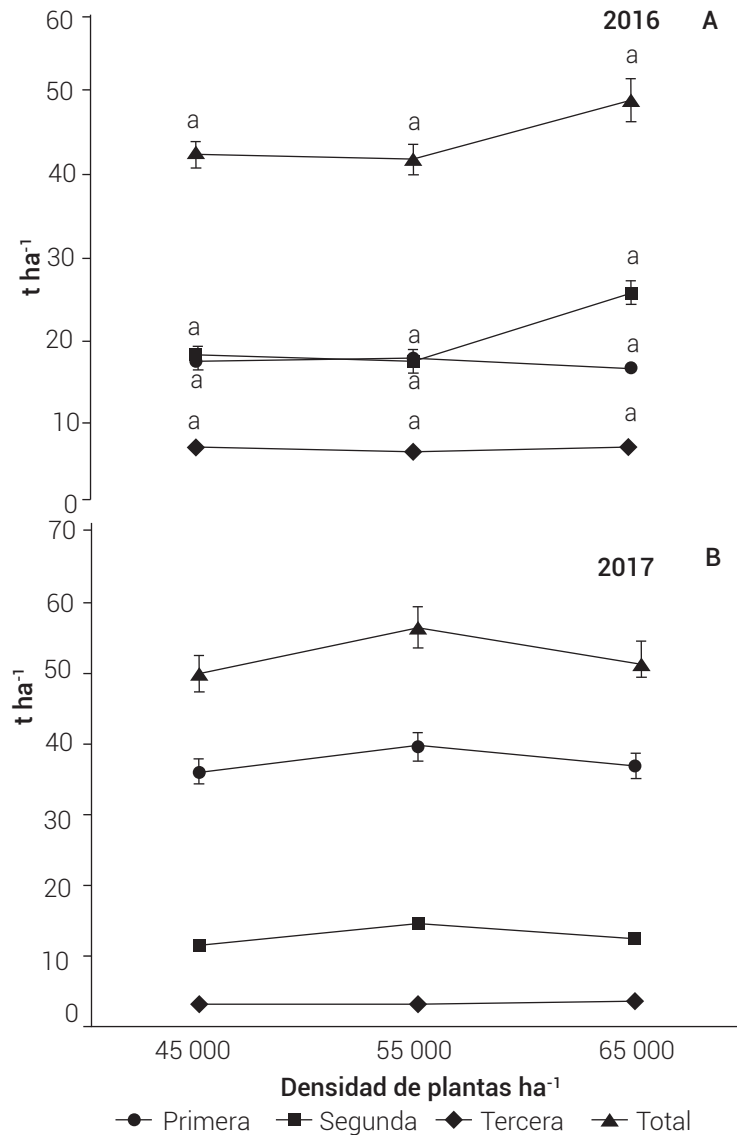


Figura 2. Rendimiento medio de tubérculos de papa en tres categorías y rendimiento total en función de tres densidades de población obtenidos en 2016 (A) y 2017 (B). Tukey $P \leq 0.05$.

Bussan *et al.*, 2007; Zheng *et al.*, 2016), quienes concluyeron que altas densidades de plantación aumentaron el rendimiento total de tubérculos, pero disminuyeron el tamaño promedio de los mismos. Otros investigadores han reportado que el aumento de la densidad no tuvo efecto sobre el rendimiento total, pero disminuyó el tamaño de los tubérculos (Dyer, 2017); en tanto, Lynch y Rowberry (1977) mencionaron que a bajas densidades el rendimiento puede ser igual que con densidades más altas, debido a que densidades bajas propician mayor ramificación de las plantas, lo que provoca que el índice de área foliar y la radiación fotosintéticamente activa sean similares en todas las densidades. Esta información se puede utilizar también para explicar la falta de significancia en la interacción densidad \times fertilización de acuerdo con el análisis de

varianza (Cuadro 2), el rendimiento total no fue afectado por la interacción densidad \times fertilización en ninguno de los dos años. El aumento de las dosis de fertilización tiene un efecto similar que el aumento de la densidad, debido al incremento de la biomasa de la parte aérea de la planta, lo cual hace que el efecto sobre la producción de tubérculos sea el mismo explicado anteriormente. Estos resultados también se apoyan en los estudios de Lynch y Rowberry (1977) y Arsenault *et al.* (2001), quienes no observaron diferencias significativas en la interacción densidad por niveles de nitrógeno.

En 2017, el rendimiento total presentó un ligero incremento ($P \leq 0.001$) al aumentar la densidad de 45,000 a 55,000 con 57 t ha⁻¹ y de 55,000 a 65,000 plantas

ha⁻¹, un decremento de 5 t ha⁻¹ (Figura 2B). Esta misma tendencia se observa en el rendimiento de tubérculos de primera y segunda categoría; sin embargo, el rendimiento en la categoría de tercera fue menor de 4 t ha⁻¹ y no fue afectado por los cambios de densidad de plantación. Estos resultados sugieren que la densidad óptima se encuentra entre 45,000 y 55,000 plantas ha⁻¹, y se encuentran dentro del intervalo de densidades que se consideran óptimas en la literatura, el cual va desde 35,625 plantas ha⁻¹ (Bohl, *et al.*, 2011) hasta 66,700 plantas ha⁻¹ (Getie *et al.*, 2015). Es conveniente considerar que la respuesta a la densidad de plantación puede ser muy variable, dependiendo del clima, variedad, tamaño de la semilla, calidad fisiológica de la semilla y destino del producto, ya que para semilla se requieren tamaños de tubérculo relativamente pequeños, de alrededor de 65 g, comparados con los tamaños más grandes, que generalmente demanda la industria y el mercado en fresco (Wiersema, 1987).

El análisis económico se presenta en el Cuadro 3. La comparación de medias de los tratamientos de 2016 indica que solo el testigo y el tratamiento con densidad de 45,000 plantas ha⁻¹ y fórmula de fertilización 280-280-280 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O fueron estadísticamente menores ($P \leq 0.05$) que los demás tratamientos. El testigo y el tratamiento mencionado tuvieron una diferencia de 26.7 y 15.14 t, con respecto al tratamiento más alto (65,000 plantas y 280 kg de N-P₂O₅-K₂O) el cual tuvo un rendimiento total ponderado de 46 t ha⁻¹.

En 2017, el testigo, los tratamientos con 45,000 plantas ha⁻¹ y 360 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O; 65,000 plantas ha⁻¹ y 360

kg de N-P₂O₅-K₂O tuvieron rendimientos significativamente menores ($P \leq 0.05$) que el resto de los tratamientos, con diferencias de 17.5, 11.35 y 10.92 t respecto al tratamiento con 55,000 plantas ha⁻¹ y 200-200-200 de N-P₂O₅-K₂O; así mismo, se puede apreciar que los óptimos económicos se asociaron con los tratamientos que presentaron el máximo rendimiento ponderado. En 2016, el tratamiento con 65,000 plantas ha⁻¹ y 280 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O presentó un ingreso neto de \$116,160 MXN y en 2017, el tratamiento con 55,000 plantas ha⁻¹ y 200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O presentó un ingreso de \$173,252 MXN, lo que coincide con lo encontrado por Getie *et al.* (2015), quienes reportaron una densidad óptima de 65,000 plantas por hectárea.

Considerando estrictamente la prueba de comparación de las medias de rendimiento ponderado, en 2016 existieron varios tratamientos iguales; sin embargo, el tratamiento 2 con 45,000 plantas ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O fue el que tuvo el menor costo variable; no obstante, el mayor ingreso neto se obtuvo con el tratamiento 9 (65,000 plantas ha⁻¹ y 280 N-P₂O₅-K₂O) con \$116,160. En 2017, el tratamiento 5 (55,000 plantas ha⁻¹ y 200 N-P₂O₅-K₂O) obtuv el mayor ingreso neto con \$173,252 MXN (Cuadro 3).

En los dos años en que se realizaron los experimentos los resultados de rendimiento total y ponderado obtenidos mostraron una respuesta baja, o incluso negativa, a los niveles crecientes de población, por arriba de 45,000 plantas ha⁻¹ y fertilización de 200-200-200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O. Estos resultados demuestran que la mejor apariencia de las plantas, asociada con altas densidades

Cuadro 3. Medias del rendimiento ponderado (t ha⁻¹) e ingreso neto (\$ MXN ha⁻¹) obtenido en los experimentos de fertilización y densidad de siembra en 2016 y 2017.

NT	Densidad (plantas ha ⁻¹)	Dosis de fertilización (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (kg ha ⁻¹)	2016		2017	
			Rendimiento ponderado (t ha ⁻¹)	Ingreso neto (\$ ha ⁻¹)	Rendimiento ponderado (t ha ⁻¹)	Ingreso neto (\$ ha ⁻¹)
1	55,000	0	19.30 c	3,500	37.87 c	96,357
2	45,000	200-200-200	39.50 ab	99,900	48.50 ab	145,340
3	45,000	280-280-280	30.86 bc	52,460	46.8 abc	132,164
4	45,000	360-360-360	38.26 ab	85,220	44.02 bc	114,002
5	55,000	200-200-200	35.34 ab	73,100	55.37 a	173,252
6	55,000	280-280-280	34.27 ab	63,510	52.73 ab	155,805
7	55,000	360-360-360	37.68 ab	76,320	49.53 ab	135,581
8	65,000	200-200-200	39.04 ab	85,600	51.99 ab	150,358
9	65,000	280-280-280	46.00 a	116,160	48.36 abc	127,955
10	65,000	360-360-360	38.39 ab	73,870	44.45 bc	104,191

NT: número de tratamiento. Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

de plantación y altas dosis de fertilización, no justifica los mayores costos en semilla y fertilizantes que implican estos tratamientos.

CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que para la variedad de papa Citlali, la densidad óptima se encuentra entre 45,000 y 55,000 plantas ha⁻¹. Se observó, en los dos años de evaluación, que el aumento de la densidad de población no se relacionó con un incremento en rendimiento. El mejor rendimiento total en 2016 fue de 45 t ha⁻¹ y en 2017 de 55.5 t ha⁻¹, en ambos años con 200 kg ha⁻¹ de fertilización NPK y no hubo respuesta en el rendimiento al aumentar la dosis de fertilización de 200 a 280 y 360 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O. El tratamiento con la densidad de 45,000 plantas ha⁻¹ y la dosis de 200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O fue el que tuvo el menor costo variable. El mayor ingreso neto en 2016 con el tratamiento de 65,000 plantas ha⁻¹ y 280 N-P₂O₅-K₂O y en 2017 de \$173,252 con el tratamiento de 55,000 plantas ha⁻¹ y 200 N-P₂O₅-K₂O.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

BIBLIOGRAFÍA

- Arsenault W. J., D. A. LeBlanc, G. C. C. Tai and P. Boswall (2001) Effects of nitrogen application and seed piece spacing on yield and tuber size distribution in eight potato cultivars. *American Journal of Potato Research* 78:301-309, <https://doi.org/10.1007/BF02875695>
- Bohl W. H., J. C. Stark and C. S. McIntosh (2011) Potato seed piece size, spacing, and seeding rate effects on yield, quality and economic return. *American Journal of Potato Research* 88:470-478, <https://doi.org/10.1007/s12230-011-9213-4>
- Bussan A. J., P. D. Mitchell, M. E. Copas and M. J. Drilias (2007) Evaluation of the effect of density on potato yield and tuber size distribution. *Crop Science* 47:2462-2472, <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.01.0026>
- De Almeida F. M., W. Torres N., J. A. Cabrera R. y J. Arzuaga S. (2018) Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L., cv Romano), en la provincia de Huambo, Angola, bajo dos densidades de plantación. *Cultivos Tropicales* 39:31-40.
- Dyer J. (2019) Managing planting density for production of whole seed potatoes. Maine Potato Board. Presque Isle, Maine, USA. <https://www.mainepotatoes.com/wp-content/uploads/2019/04/Managing-Planting-Density-for-Production-of-Whole-Seed-Potatoes.pdf> (April 2023).
- Ebrahim S., H. Mohammed and T. Ayalew (2018) Effects of seed tuber size on growth and yield performance of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties under field conditions. *African Journal of Agricultural Research* 13:2077-2086, <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13405>
- Fernandes A. M., R. P. Soratto and B. L. Silva (2011) Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35:2039-2056, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600020>
- Getie A. T., N. Dechassa and T. Tana (2015) Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and yield components to nitrogen fertilizer and planting density at Haramaya, Eastern Ethiopia. *Journal of Plant Sciences* 3:320-328, <https://doi.org/10.11648/j.jps.20150306.15>
- IUSS Working Group WRB, International Union of Soil Sciences Working Group World Reference Base for Soil Resources (2015) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2014, Sistema Internacional de Clasificación de Suelos para la Nomenclatura de los Suelos y la Creación de Leyendas de Mapas de Suelo. Actualización 2015. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 106. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 205 p.
- Job A. L. G., R. P. Soratto, A. M. Fernandes, N. S. Assunção, F. M. Fernandes and R. Yagi (2019) Potassium fertilization for fresh market potato production in tropical soils. *Agronomy Journal* 111:3351-3362, <https://doi.org/10.2134/agronj2019.05.0336>
- Kang W., M. Fan, Z. Ma, X. Shi and H. Zheng (2014) Luxury absorption of potassium by potato plants. *American Journal of Potato Research* 91:573-578, <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9386-8>
- Lynch D. R. and R. G. Rowberry (1977) Population density studies with Russet Burbank II. The effect of fertilization and plant density on growth, development and yield. *American Potato Research* 54:57-71, <https://doi.org/10.1007/BF02851874>
- Miller J. S. and C. J. Rosen (2005) Interactive effects of fungicide programs and nitrogen management on potato yield and quality. *American Journal of Potato Research* 82:399-409, <https://doi.org/10.1007/BF02871970>
- Muñoz-Arboleda F., R. S. Mylavarapu, C. M. Hutchinson and K. M. Portier (2006) Root distribution under seepage-irrigated potatoes in Northeast Florida. *American Journal of Potato Research* 83:463-472, <https://doi.org/10.1007/BF02883507>
- Nasir S. and B. Akassa (2018) Review on effect of population density and tuber size on yield components and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Plant Science* 12:319-323, <https://doi.org/10.5897/AJPS2018.1701>
- Negero F. W. (2017) Yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by planting density and rate of nitrogen application at Holeta, West Oromia region of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 12:2242-2254, <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11840>
- Oliveira C. A. S. (2000) Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35:939-950, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000500011>
- Rubio C. O. Á. y M. A. Cadena H. (2012) Optimización del fraccionamiento del nitrógeno en el cultivo de papa en el valle de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1075-1084, <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1360>
- Rubio C. O. Á., M. A. Cadena H., R. Flores L., G. Vázquez C., M. Díaz V., J. M. Valenzuela V. y H. López D. (2017) Citlali, variedad de papa tolerante a la punta morada. Folleto Técnico No. 3. Sitio Experimental Metepec, INIFAP. Metepec, Estado de México. 28 p.
- SAS Institute (2018) User's Guide of SAS. Proprietary Software Depot 9.3. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.
- Shayanowako A., R. Mangani, T. Mtaita and U. Mazarura (2015) Influence of main stem density on Irish potato growth and yield: a review. *Annual Research & Review in Biology* 5:229-237, <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/9973>
- Villa P. M., L. Sarmiento, F. J. Rada, D. Machado and A. C. Rodríguez (2017) Leaf area index of potato (*Solanum tuberosum* L.) crop under three nitrogen fertilization treatments. *Agronomía Colombiana* 35:171-175, <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.62110>
- Vos J. (2009) Nitrogen responses and nitrogen management in potato. *Potato Research* 52:305-317, <https://doi.org/10.1007/s11540-009-9145-2>
- Westermann D. T. (2005) Nutritional requirements of potatoes. *American Journal of Potato Research* 82:301-307, <https://doi.org/10.1007/BF02871960>
- Wiersema S. G. (1987) Effect of stem density on potato production. Technical Information Bulletin 1. International Potato Center. Lima, Peru. 16 p.
- Zheng S. L., L. J. Wang, N. X. Wan, L. Zhong, S. M. Zhou, W. He and J. C. Yuan (2016) Response of potato tuber number and spatial distribution to plant density in different growing seasons in Southwest China. *Frontiers in Plant Science* 7:365, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00365>