

Calidad fisicoquímica de tubérculos de papas producidos con y sin malla antiáfidos

María Gricelda Vázquez-Carrillo^{1§}
Oswaldo Ángel Rubio-Covarrubias²
David Santiago-Ramos³

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. Tel. 01(55) 38718700, ext. 85364. CP. 56250. ²Sitio Experimental Metepec-INIFAP. Conjunto SEDAGRO s/n, Metepec, Estado de México, México. CP. 52140. (oswaldorubioc@gmail.com). ³PROPAC-UAQ. Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, Querétaro, México. CP. 76010. (david.san.18@hotmail.com).

§Autora para correspondencia: gricelda.vazquez@yahoo.com.

Resumen

Las características fisicoquímicas de los tubérculos de papa se han visto disminuidas por la presencia de la enfermedad de la punta morada (PMP). Actualmente, el uso de mallas antiáfidos es una estrategia que permite proteger a las plantas de los insectos que transmiten la PMP. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas de tubérculos de papa y sus frituras, producidos con y sin la protección de una malla antiáfidos en Metepec, Estado de México. Se estudiaron cinco genotipos (Fianna, Nau, 5-10, 8-65, 99-39). La malla antiáfidos redujo 34.5% la radiación fotosintéticamente activa y consecuentemente redujo la acumulación de almidón y el rendimiento de papas fritas. La PMP infectó las plantas que no se cubrieron, por lo que los tubérculos presentaron manchado interno y mayor contenido de azúcares reductores (19.67 g kg^{-1}) que los tubérculos de plantas cubiertas (4.77 g kg^{-1}); sin embargo, en ambas condiciones los tubérculos tuvieron contenidos similares de compuestos fenólicos totales. La protección de las plantas con malla antiáfidos podría ser una alternativa para producir tubérculos con calidad aceptable para el consumo en fresco y la producción de papas fritas.

Palabras clave: almidón, azúcares reductores, malla antiáfidos, papas fritas, punta morada de la papa.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

La enfermedad de la punta morada de la papa (PMP) es una amenaza en muchas regiones productoras de papa en México y Estados Unidos de América. Esta enfermedad es causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, la cual es transmitida por el psílido de la papa *Bactericera cockerelli* Sulc. (Munyaneza, 2012). Los tubérculos infectados por la PMP no se aceptan para consumir en fresco ni para la producción de papas fritas debido al manchado interno que se intensifica con el freído (Munyaneza, 2012). La PMP también promueve la acumulación de azúcares reductores (AR), aminoácidos y compuestos fenólicos en los tubérculos (Wallis *et al.*, 2014), los cuales afectan el color y sabor de los alimentos a base de papa (Rodríguez-Saona *et al.*, 1997). La gravedad específica (GE), materia seca (MS) y el contenido de almidón también son variables de calidad del tubérculo, que influyen en el rendimiento, la textura y la absorción de aceite (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013).

Actualmente, el control de la PMP se basa en la aplicación de pesticidas específicos contra el psílido de la papa, pero esta estrategia es muy costosa ya que representa alrededor de 20% de los costos de producción total (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2017). Una solución a este problema ha sido el desarrollo de genotipos tolerantes (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2017). Otra estrategia consiste en evitar el contacto del insecto vector con la planta, lo que es posible usando mallas antiáfidos. El uso de esta tecnología ha incrementado significativamente la producción de tubérculos para semilla con buena calidad fitosanitaria y además es rentable. A la fecha no hay estudios que reporten el efecto del uso de esta tecnología en la calidad del tubérculo para la producción de papas fritas, que es el principal destino de la papa. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas de tubérculos de papa y sus frituras, producidos con y sin la protección de una malla antiáfidos en Metepec, Estado de México.

Para abordar este objetivo, se cultivaron cinco genotipos (Fianna, Citlali, Nau, 8-65, 99-39) a campo abierto y bajo una malla antiáfidos utilizando un diseño de bloques completos con 4 repeticiones. El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano de 2013 en Metepec, Estado de México. La incidencia de PMP en esta región es alta (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2015). La temperatura máxima y mínima promedio fue de 22.3 y 4.6 °C, respectivamente y la precipitación anual fue de 785.6 mm. La malla (16 x 10 hilos cm⁻²) se sostuvo con arcos de acero de 1 m de altura, se instaló inmediatamente después de la siembra y permaneció hasta la cosecha. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) bajo la malla se midió a las 12:00 am a 1, 50 y 100 cm de altura sobre el suelo con un ceptómetro (AccuPAR-LAI, modelo LP-80, METER Group, Pullman, WA, EUA).

Los valores de PAR registrados fueron 1 555, 1 288 y 1 022 mol m⁻² s⁻¹, respectivamente. A campo abierto la PAR fue de 1 967 mol m⁻² s⁻¹, por lo que la reducción bajo la malla fue de 34.5% en promedio. La siembra, aplicación de desecante, y cosecha se realizaron el 11 de junio, 13 de septiembre y 27 de septiembre, respectivamente. La dosis de fertilización fue 200N-200P₂O₅-200K₂O kg ha⁻¹, más 50 kg ha⁻¹ de micronutrientes y 1 t ha⁻¹ de gallinaza. Se aplicaron fungicidas e insecticidas (Abamectin, Imidacloprid, Pymetrozine, Bifenthrin) semanalmente en rotación sobre el follaje en ambas condiciones de cultivo a las dosis recomendadas por los proveedores.

Después de la cosecha, se seleccionaron al azar 20 tubérculos de cada tratamiento, uniformes en tamaño, forma, color y libres de daños físicos para evaluar sus características fisicoquímicas y la calidad de las papas fritas. El resto de los tubérculos se almacenaron en una bodega a temperatura ambiente (23 ±1 °C) y con una humedad relativa promedio de 70% por cinco meses. Al final de este periodo, los tubérculos con brotes normales se clasificaron como tubérculos sanos, mientras

que los tubérculos con brotes ahilados o tubérculos no brotados se clasificaron como tubérculos infectados y los resultados se expresaron en porcentaje. Los tubérculos infectados se cortaron a la mitad y se evaluó el índice de manchado interno (IMI) en una escala de 0 a 5, donde 0 representa ausencia de manchado y 5 un exceso de manchado que cubre la mayor parte de la pulpa de la papa (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2015; 2017).

El color de la pulpa se evaluó en términos de luminosidad con un colorímetro Hunter Lab (MiniScan XE Plus 45/0-L; Reston, VA, EUA) (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013) y la gravedad específica (GE) con el método reportado por Gould (1999). La humedad y el contenido de almidón se determinaron con los métodos 44-15.02 y 76-13.01 de la AACC International (2017), respectivamente. La materia seca (MS) se calculó como 100-(%) humedad. La extracción y cuantificación de azúcares reductores (AR) (glucosa y fructosa) y sacarosa se realizó de acuerdo al método reportado por Castañeda-Saucedo *et al.* (2012). El contenido de fenoles totales se determinó con el método de Folin-Ciocalteu reportado por Singleton *et al.* (1999).

Las papas fritas se prepararon como lo reportó Vázquez-Carrillo *et al.* (2013), utilizando hojuelas de papa de 1.2 mm de espesor, aceite vegetal comestible a 180 °C y un tiempo de freído de 3 min. El rendimiento, fracturabilidad y luminosidad se evaluaron con los métodos reportados por los mismos autores. Todos los análisis se hicieron por triplicado. El diseño de tratamientos fue factorial asimétrico 2 x 5, donde en primer factor fue la condición de cultivo (plantas cubiertas y plantas no cubiertas) y el segundo factor fue el genotipo (Fianna, Citlali, Nau, 8-65, y 99-39). Los resultados se analizaron con un análisis de varianza, comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y correlación de Pearson usando el paquete SAS versión 9.0.

El análisis de varianza mostró efectos significativos de la condición de cultivo (C), el genotipo (G) y la interacción C x G sobre todas las variables, excepto para la GE y el contenido de fenoles totales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza de las características fisicoquímicas del tubérculo y calidad de las papas fritas de plantas cubiertas y no cubiertas con malla antiáfidos.

FV	TI	TS	IMI	LT	GE	MS	Almidón	AR	Saca-rosa	FT	Rend Chip	LChip	Fract
Condición (C)	22606**	22606**	5.6**	5.5**	0.001**	3127.5**	6566.7**	1110**	18.2**	334.6	636.2**	164.3**	2.4**
Genotipo (G)	118.7**	118.7**	0.3**	4**	0.001	935.9**	736.6**	231.4**	4.5**	37459.2**	980.5**	275.6**	0.3**
C x G	118.7**	118.7**	0.3**	0.4*	0.001	48**	80.8**	83.6**	3.7**	2727.6*	281.6**	19.9**	0.1**

FV= fuente de variación; TI= tubérculos infectados; TS= tubérculos sanos; IMI= índice de manchado interno, LT= luminosidad del tubérculo; GE= gravedad específica; MS= materia seca; AR= azúcares reductores; FT= fenoles totales; RendChip= rendimiento de papas fritas= LChip= luminosidad de las papas fritas; Fract= fracturabilidad; * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$.

Las plantas cubiertas no se infectaron con la PMP, por lo que ningún tubérculo presentó manchado interno y todos tuvieron brotes normales, mientras que las plantas no cubiertas tuvieron diferentes porcentajes de tubérculos infectados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características fisicoquímicas del tubérculo y papas fritas de plantas cubiertas y no cubiertas con malla antiáfidos.

Factor	TI (%)	TS (%)	IMI	LT	GE	MS (g kg ⁻¹)	Almidón (g kg ⁻¹)	AR (g kg ⁻¹)	Sacarina (g kg ⁻¹)	FT (mg 100g ⁻¹)	Rend Chip (g kg ⁻¹)	LChip	Fract (N)	
Genotipo	Fianna	39.4a	10.6e	0.95a	79.9b	1.077a	186b	137b	6.75e	17c	345.78d	25.9a	61.07a	2.4d
	Nau	26e	23.9a	0.3d	80.65a	1.075a	162c	120d	8.95d	9.7d	531.55b	23.3bc	53.86b	2.9b
	8-65	35.9c	14c	0.25e	80b	1.072a	182.2b	127.7c	10.12b	19.2b	591.95a	23.8b	52.6b	3.1a
	Citlali	36.7b	13.3d	0.45c	79.4b	1.075a	192.2a	149.7a	9.68c	24.5a	558.25ab	25.5a	62.32a	2.6c
	99-39	30d	20b	0.7b	77.99c	1.07a	157.7c	116.5d	25.62a	17.7bc	471.18c	22.2c	41.55c	2.6c
Condición	Con malla	0b	100a	0b	80.11a	1.068b	163.7b	112b	4.77b	8.1b	503.83a	23.6b	57.15a	2.4b
	Sin malla	67.2a	32.8b	1.1a	79.07b	1.08a	188.4a	148.4a	19.67a	27.2a	495.65a	24.7a	51.41b	3.1a

TI= tubérculos infectados; TS= tubérculos sanos; IMI= índice de manchado interno; LT= luminosidad del tubérculo; GE= gravedad específica; MS= materia seca; AR= azúcares reductores; FT= fenoles totales, RendChip= rendimiento de papas fritas; LChip= luminosidad de las papas fritas; Fract= fracturabilidad. Medias con letras diferentes en una misma columna son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Rubio-Covarrubias *et al.* (2013, 2015) reportaron resultados similares en cuanto a la incidencia de la PMP y el manchado interno de los tubérculos para los mismos genotipos bajo condiciones de campo abierto. Estos resultados confirmaron la resistencia de los genotipos Nau, 8-65 y Citlali al manchado interno de los tubérculos provocado por la PMP. La luminosidad de la pulpa presentó valores entre 77.59-80.78 (Cuadro 2). Valores altos de esta variable indican una pulpa más blanca, es decir con ausencia de manchado interno resultado de la presencia de la PMP o ausencia de oscurecimiento enzimático provocado por la presencia de un alto contenido de fenoles y peroxidasas.

Estos valores solo se encontraron en los tubérculos provenientes de plantas cubiertas, las cuales también tuvieron ausencia de manchado interno. Todos los tubérculos de genotipos provenientes de plantas no cubiertas tuvieron valores mayores de GE, MS y almidón, en comparación con los tubérculos de plantas cubiertas (Cuadro 2). El valor bajo de gravedad específica (GE), materia seca (MS) y almidón de los tubérculos de plantas cubiertas se atribuyeron a la reducción de 34.5% de la PMP.

La malla antiáfidos redujo la radiación solar interceptada por las plantas, lo que provocó una disminución de la actividad fotosintética y consecuentemente de la acumulación de almidón en los tubérculos. La baja acumulación de almidón influyó en una menor cantidad de material seco y densidad de los tubérculos. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Chen y Setter (2003), quienes encontraron que el número de células, la concentración de glucosa y la acumulación neta de biomasa en tubérculos de papa se redujo cuando las plantas se sombrearon con una malla plástica de doble capa. Se observaron altas correlaciones entre GE y MS ($r = 0.68$; $p \leq 0.01$), GE y almidón ($r = 0.77$; $p \leq 0.01$) y entre MS y almidón ($r = 0.93$; $p \leq 0.01$), similares a los reportados por Vázquez-Carrillo *et al.* (2013).

El contenido de AR y sacarosa en tubérculos fue de 1.01-40.91 y 2.2-3.5 g kg⁻¹ de peso fresco (pf), respectivamente (Cuadro 2).

Stark y Love (2003) afirman que, por regla general, la biosíntesis de los azúcares y almidón presentan una tendencia inversa; es decir, cualquier factor de cultivo o medio ambiental que influya en el incremento del contenido de almidón reducirá el contenido de azúcares y viceversa. Esta investigación reveló una tendencia diferente, los tubérculos de plantas no cubiertas tuvieron un mayor contenido de almidón y también mayor contenido de azúcares reductores y sacarosa (Cuadro 2) por consecuencia de la PMP. Wallis *et al.* (2014); Rubio-Covarrubias *et al.* (2017) reportaron que los tubérculos infectados acumulan más azúcares reductores por alteraciones metabólicas producidas por la infección causada por *Candidatus Liberibacter solanacearum*.

La resistencia genética a la infección también se observó claramente en la acumulación de AR ya que los tubérculos del genotipo 99-39 acumularon la mayor cantidad de estos compuestos. Los tubérculos para la producción de papas fritas deben presentar valores de $GE \geq 1.08$, $MS \geq 20\%$, $AR \leq 0.035\%$ pf y sacarosa $\leq 0.15\%$ pf (Stark y Love, 2003). Aunque algunos genotipos tuvieron $GE > 1.08$ y MS en promedio 20%, también tuvieron altos contenidos de AR y sacarosa, lo cual limita su uso para la producción de papas fritas. El contenido de fenoles totales se encontró entre 338.6-619.1 mg 100 g⁻¹ pf (Cuadro 2). La acumulación de compuestos fenólicos también es un síntoma de la infección por PMP (Wallis *et al.*, 2014; Rubio-Covarrubias *et al.*, 2017), por lo que se esperaba que los tubérculos de plantas no cubiertas tuvieran un mayor contenido de estos compuestos. Sin embargo, no se observó un efecto significativo de la condición de cultivo sobre el contenido de fenoles totales.

Esto implica que las condiciones medioambientales que se presentaron bajo la malla pudieron causar algún estrés a las plantas induciendo la producción de compuestos fenólicos. Ghasemzadeh *et al.* (2010) reportaron que algunas plantas incrementan su producción de fenoles y flavonoides cuando son cultivadas bajo cubiertas debido a bajas temperaturas que se pueden presentar; sin embargo, se requiere un estudio detallado de la influencia del microambiente que se genera bajo la malla en diferentes periodos del día sobre la acumulación de compuestos en tubérculos de papa.

La MS y el contenido de almidón afectaron directamente el rendimiento de papas fritas y su textura. Los tubérculos de plantas no cubiertas tuvieron más rendimiento de papas fritas y con mayores valores de fracturabilidad (Cuadro 2). Las correlaciones que corroboraron esta tendencia fueron: rendimiento de papas fritas-GE ($r = 0.54$; $p \leq 0.05$), rendimiento de papas fritas-MS ($r = 0.8$; $p \leq 0.001$) y rendimiento de papas fritas-almidón ($r = 0.7$; $p \leq 0.001$). El contenido de AR tuvo una influencia negativa en la luminosidad de las papas fritas ($r = -0.74$, $p \leq 0.001$), lo que coincide con lo reportado por Rodríguez-Saona *et al.* (1997); Vázquez-Carrillo *et al.* (2013). Las papas fritas de tubérculos de plantas no cubiertas, al ser infectados por la PMP tuvieron más AR y sacarosa lo que favoreció la producción de papas fritas de color marrón oscuro.

Conclusiones

Con el uso de una malla antiáfidos se obtuvieron plantas libres de la enfermedad de la PMP, pero la radicación fotosintéticamente activa disminuyó la acumulación de materia seca en almidón, reduciéndose el rendimiento de papas fritas y la fracturabilidad; pero se sintetizó un menor contenido de azúcares reductores y sacarosa, respecto al cultivo sin cubrir. Las condiciones del cultivo no ocasionaron diferencias significativas en la acumulación de compuestos fenólicos totales en los tubérculos; sin embargo, las causas de esa acumulación son diferentes y requieren un estudio detallado. En general se observó que el uso de malla antiáfidos puede ser una alternativa para la producción de tubérculos de papa para consumo en fresco o para la producción de papas fritas.

Literatura citada

- AACC. 2017. International (American Association of Cereal Chemists International). Approved methods of analysis. 11th (Ed.). American Association of Cereal Chemists International. Minneapolis, Minnesota, USA. <http://methods.aaccnet.org/default.aspx>.
- Castañeda, S. M. C.; Delgado, A. A.; Córdova, T. L.; González, H. V. A.; Tapia, C. E.; Santacruz, V. A.; Vázquez, C. M. G. and García, de los S. G. 2012. Changes in carbohydrate concentration in leaves, pods and seeds of dry bean plants under drought stress. *Interciencia*. 37(3):168-175.
- Chen, C. T. and Setter, T. L. 2003. Response of potato tuber cell division and growth to shade and elevated CO₂. *Ann. Bot.* 91(3):373-381.
- Ghasemzadeh, A.; Jaafar, H. Z. E.; Rahmat, A.; Wahab, P. E. M. and Halim, M. R. A. 2010. Effect of different light intensities on total phenolics and flavonoids synthesis and anti-oxidant activities in young ginger varieties (*Zingiber officinale* Roscoe). *Int. J. Mol. Sci.* 11(10):3885-3897. <https://doi.org/10.3390/ijms11103885>.
- Gould, W. A. 1999. Potato production, processing and technology. CTI Publications, Inc. Maryland, USA. 259 p.
- Munyaneza, J. E. 2012. Zebra chip disease of potato: biology, epidemiology, and management. *Am. J. Potato Res.* 89(5):329-350. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9262-3>.
- Rodríguez, S. L. E.; Wrolstad, R. E. and Pereira, C. 1997. Modeling the contribution of sugars, ascorbic acid, chlorogenic acid and amino acids to non-enzymatic browning of potato chips. *J. Food Sci.* 62(2):1001-1010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15024.x>.
- Rubio, C. O. A.; Cadena, H. M. A. y Vázquez, C. G. 2013. Manejo integrado de la punta morada de la papa en el Estado de México. INIFAP-CIRCE, Campo Experimental Valle de México. Texcoco, Estado de México. Folleto técnico núm. 2. 40 p.
- Rubio, C. O. A.; Cadena, H. M. A.; Flores, L. R.; Munyaneza, J. E.; Prager, S. M. and Trumble, J. T. 2015. Assessing zebra chip resistance of advanced potato clones under field conditions in the Toluca valley, Mexico. *Rev. Latinoam. Papa.* 19(2):18-28.
- Rubio, C. O. A.; Cadena, Hinojosa, M. A.; Prager, S. M.; Wallis, C. M. and Trumble, J. T. 2017. Characterization of the tolerance against zebra chip disease in tubers of advanced potato lines from Mexico. *Am. J. Potato Res.* 94(4):342-356. <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9570-8>.
- Singleton, V. L.; Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299:152-178.
- Stark, J. C. and Love, S. L. 2003. Tuber quality. *In: Potato production systems*. Stark, J. C. and Love (Eds.). University of Idaho Agricultural Communications. Idaho, USA. 329-343 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Vázquez, C. M. G.; Santiago, R. D.; Ybarra, M. M. C.; Rubio, C. O. A. and Cadena, H. M. A. 2013. Variables fisicoquímicas y calidad de fritura de clones de papa desarrollados para los Valles Altos de México. *Agrociencia*. 47(1):47-60.
- Wallis, C. M.; Rashed, A.; Wallingford, A. K.; Paetzold, L.; Workneh, F. and Rush, C. M. 2014. Similarities and differences in physiological responses to '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' infection among different potato cultivars. *Phytopathology*. 104(2):126-33. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-13-0125-R>.