

Análisis mineral en pulpa y cáscara de manzanas Golden Glory durante las etapas de desarrollo

Mineral analysis of pulp and peel in Golden Glory apples during developmental stages

Nora Aideé Salas-Salazar¹ , Aideé Alejandra Pacheco-Loya¹ , Esteban Sánchez-Chávez² , Rosa María Yáñez-Muñoz¹ , María Janeth Rodríguez-Roque¹ , Mayra Cristina Soto-Caballero^{1*} 

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Ciudad Universitaria s/n, 31310, Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., avenida Cuarta Sur 3820, Fraccionamiento Vencedores del Desierto, 33089, Ciudad Delicias, Chihuahua, México.

*Autor para correspondencia: masotoc@uach.mx

Fecha de recepción:

18 de agosto de 2025

Fecha de aceptación:

11 de febrero de 2026

Disponible en línea:

28 de marzo de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)

Cómo citar:

Salas-Salazar, N. A., Pacheco-Loya, A. A., Sánchez-Chávez, E., Yáñez-Muñoz, R. M., Rodríguez-Roque, M. J., & Soto-Caballero, M. C. (2026). Análisis mineral en pulpa y cáscara de manzanas Golden Glory durante las etapas de desarrollo. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 12, e0121018. <https://doi.org/10.30973/aap/2026.12.0121018>

RESUMEN

La composición mineral de la manzana durante su desarrollo influye directamente en la calidad del fruto y en la incidencia de desórdenes fisiológicos. El objetivo de este estudio fue analizar el contenido mineral en cáscara y pulpa de manzanas Golden Glory durante su desarrollo. Se tomaron muestras de una huerta tecnificada a los 40, 70 y 130 días después de plena floración, y se determinaron macro y micronutrientes. Se observaron diferencias significativas en el contenido mineral entre etapas de desarrollo y tejidos del fruto. El calcio disminuyó conforme avanzó el desarrollo, con valores entre 0.06 % y 0.17 %, siendo mayor en la cáscara. El potasio y el magnesio mostraron una relación inversa con el tiempo de desarrollo, con concentraciones de 0.35 % a 0.78 % y de 0.024 % a 0.075 %, respectivamente. El nitrógeno alcanzó hasta 1.03 % en la cáscara. Los micronutrientes también fueron influenciados por el tiempo y el tejido, destacando hierro, sodio y cobre. En general, la cáscara presentó mayor acumulación mineral.

PALABRAS CLAVE

Desarrollo del fruto, composición mineral, calidad, macronutrientes, micronutrientes.

ABSTRACT

The mineral composition of apples during development directly influences fruit quality and the incidence of physiological disorders. The aim of this study was to analyze the mineral content in the peel and pulp of Golden Glory apples during fruit development. Samples were collected from a technified orchard at 40, 70, and 130 days after full bloom, and macronutrients and micronutrients were determined. Significant differences in mineral content were observed among developmental stages and fruit tissues. Calcium decreased as development progressed, with values ranging from 0.06 % to 0.17 %, and was higher in the peel. Potassium and magnesium showed an inverse relationship with development time, with concentrations ranging from 0.35 % to 0.78 % and from 0.024 % to 0.075 %, respectively. Nitrogen reached values up to 1.03 % in the peel. Micronutrients were also influenced by development time and tissue type, with iron, sodium, and copper being particularly notable. In general, the peel showed greater mineral accumulation.

KEYWORDS

Fruit development, mineral composition, quality, macronutrients, micronutrients.

INTRODUCCIÓN

La manzana (*Malus domestica* Borkh.) es una fruta de pepita producida por un árbol perteneciente a la familia Rosaceae. Es cultivada mundialmente, siendo China el principal productor (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020). El estado de Chihuahua se posiciona como la principal región productora de manzana en México, con una producción anual aproximada de 624,696 toneladas (Carmona-García et al., 2024; SIAP, 2020). La manzana es una fruta altamente valorada debido a sus características de sabor y propiedades nutricionales (Guiné et al., 2021). Entre las principales variedades comerciales se encuentran Golden Delicious, Red Delicious, Gala, Fuji y Golden Glory. Esta última se ha destacado por su baja incidencia al presentar defectos fisiológicos que impactan en la calidad de los frutos (Soto-Parra et al., 2020).

La calidad de la manzana es uno de los atributos más importantes para su comercialización, la cual involucra el color, la forma, el tamaño y la ausencia de defectos (Musacchi & Serra, 2018). Estos últimos pueden ser debido a la presencia de desórdenes fisiológicos, los cuales se desarrollan o manifiestan en la etapa de poscosecha, pero se inducen durante el crecimiento y maduración de la manzana (Al Shoffe et al., 2021).

Los desórdenes fisiológicos son resultado de alteraciones que ocurren en los tejidos del fruto en respuesta a estímulos ambientales o a deficiencias y desbalances nutricionales durante la etapa de crecimiento y desarrollo de los frutos (Al Shoffe et al., 2021). Se ha estimado que los desórdenes fisiológicos generan pérdidas económicas importantes que pueden ser superiores al 30 % de la cosecha (Artés & Artés Hernández, 2002). Un aporte equilibrado y oportuno de los macros y micronutrientes durante el crecimiento puede prevenir desórdenes fisiológicos y mejorar la calidad nutricional del fruto (Aghdam et al., 2012).

El análisis mineral de la fruta ha desempeñado un papel importante en la mejora de la calidad y la vida útil de la cosecha de manzanas. Además, es una valiosa herramienta para diagnosticar el factor nutritivo involucrado en los problemas de almacenamiento (Soto-Parra et al., 2020). Se han reportado algunos estudios sobre la composición mineral de la manzana, en donde los elementos N, P, K y Ca se correlacionan

más fuertemente con la calidad de la fruta (Fallahi et al., 2010). Sin embargo, el estudio mineral puede variar dependiendo de factores genéticos, ubicaciones geográficas, cultivares, manejo agronómico y tejido vegetal (Fotirić Akšić et al., 2020; Webster, 1981). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la composición mineral en cáscara y pulpa de manzanas Golden Glory durante su desarrollo, además de su relación con la calidad del fruto y la posible incidencia de desórdenes fisiológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetativo

Se analizaron frutos de manzana variedad Golden Glory (portainjerto M111) provenientes de una huerta ubicada en Cuauhtémoc, Chihuahua (28°25'40" N, 106°59'10" O), México. La huerta muestreada contaba con sistema para el control de heladas, mallas anti-granizo, manejo integrado de plagas-enfermedades y asistencia técnica para la aplicación de fertilizantes de suelo-foliales y reguladores de crecimiento. La información en unidades por hectárea aplicadas al suelo y de manera foliar en la huerta analizada se muestra en el Cuadro 1. Todos los elementos se aplicaron al suelo; adicionalmente, una fracción de calcio (Ca) y boro (B) se aplicó vía foliar.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización aplicados en la huerta de manzana analizada de manera foliar y en el suelo (kg/ha), Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Macroelementos				
N	P	K	Mg	Ca
91.80	59.40	49.80	3.20	119.70
Microelementos				
Mn	Zn	Fe	B	
1.12	0.92	0.18	0.68	

Muestreo

Se seleccionaron 50 árboles con 18 años de edad, a los cuales se les midió el perímetro para calcular el área transversal de cada uno de los troncos. Se seleccionaron 30 árboles similares ($p \leq 0.05$), de los cuales se obtuvieron de cuatro a cinco manzanas (de entre 30 g y 50 g) y de dos a tres manzanas (de alrededor de 100 g

a 150 g) por cada árbol. Los frutos se obtuvieron de manera aleatoria y de diferente orientación (N, S, E, O), a una altura de 1.5 m y considerando solo frutos con características de primera calidad (ausencia de defectos externos y fisiológicos). Se tomaron muestras de manzanas a los 40, 70 y 130 días después de plena floración (DDPF).

Preparación de la muestra

Los frutos se sometieron a un lavado por inmersión en hipoclorito de sodio (100 ppm) con el fin de eliminar impurezas; posteriormente, se separaron manualmente en pulpa y cáscara. Después, las muestras se secaron en una estufa digital (FE-291D, Felisa, Ocotán, México) a 70 °C durante 24 h. Finalmente, las muestras secas se molieron y almacenaron a temperatura ambiente hasta su posterior análisis.

Preparación del extracto

Las muestras se sometieron a una digestión triácida, la cual se realizó con 1 L de ácido nítrico, 100 mL de ácido clorhídrico y 25 mL de ácido sulfúrico. A 1 g de muestra seca colocada en un vaso de precipitado de 250 mL se le agregaron 25 mL de la solución triácida y tres perlas de vidrio de 5 mm de diámetro. Posteriormente, las muestras fueron colocadas en placas de calentamiento con agitación (Cimarec SP131325Q, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Estados Unidos) a una temperatura arriba de 80 °C, dentro de una campana de extracción (CV-1, ECOSHEL, México). Una vez digerida la muestra, esta se aforó en 50 mL con agua destilada, la solución se filtró utilizando papel filtro Whatman núm. 1001-125. El análisis se hizo por triplicado. Las muestras fueron almacenadas en recipientes herméticos a 25 °C hasta el momento de realizar el análisis.

Determinación de los macros y micronutrientes

Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica con atomizador de flama con control de gases automático (iCE 3300, Thermo Fisher Scientific, Cambridge, Reino Unido), acoplado con una computadora con *software* Thermo SOLAAR (Thermo Scientific, Cambridge, Reino Unido). Para la determinación de los micronutrientes se realizó una inyección directa de las

soluciones, mientras que para los macronutrientes se realizó una dilución 1:100. Se prepararon soluciones estándar de cada uno de los elementos para obtener la concentración de las muestras. Los elementos analizados fueron potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), manganeso (Mn), zinc (Zn), níquel (Ni), cobre (Cu) y hierro (Fe).

Determinación de nitrógeno

El nitrógeno se determinó mediante el método micro-Kjeldahl descrito por Bremner (1965). A una muestra de 0.1 g se le agregaron 0.3 g de selenio y 3 mL de ácido sulfúrico; la mezcla realizada en un matraz Kjeldahl de 100 mL se dejó reposar durante 60 min. Transcurrido este tiempo, el matraz se colocó en una placa de calentamiento hasta obtener una mezcla color verde claro. Esta última se dejó enfriar para enseguida adicionársele 20 mL de agua destilada y tres gotas de fenolftaleína. Posteriormente, a la mezcla se le agregó hidróxido de sodio al 40 %. Una vez obtenido un cambio de color, el matraz fue nuevamente colocado en el equipo Kjeldahl para la extracción del nitrógeno, para la cual se usaron 30 mL de ácido bórico con seis gotas de verde bromocresol y seis gotas de rojo de metilo. Finalmente, se realizó una titulación con ácido clorhídrico 0.021 N y el porcentaje de nitrógeno se calculó con la siguiente ecuación:

$$[N](\%) = \left(\frac{V \times [HC] \times 0.014}{0.1} \right) \times 100$$

En donde $[N]$ es concentración de nitrógeno, V y $[HCL]$ se refieren al volumen gastado (mL) y a la concentración de ácido clorhídrico, respectivamente.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial completo general (tres repeticiones). El diseño experimental y el análisis de resultados se realizó con el *software* Minitab versión 16 (Minitab Inc., State College, Estados Unidos). Se evaluó el efecto, el tipo de tejido (pulpa y cáscara) y el tiempo de desarrollo del fruto (30, 70, 100 y 120 DDPF).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calcio y potasio

De acuerdo con el análisis de varianza, el tiempo de desarrollo del fruto y el tejido influyeron significativamente ($p < 0.05$) en la concentración de calcio de las manzanas. El coeficiente de correlación ajustado fue alto ($> r = 0.92$), indicando que los datos se ajustaron adecuadamente al modelo analizado. En el caso del contenido de potasio, solo el tiempo de desarrollo del fruto fue significativo, siendo el coeficiente de correlación ajustado de 88 %.

En la Figura 1, se muestra el contenido de calcio y potasio durante los 40, 70 y 130 DDPF en pulpa y cáscara de manzana. El contenido de calcio en el fruto disminuyó conforme aumentaron los días después de plena floración. Esta tendencia fue similar a la obtenida por Miqueloto et al. (2014), quienes atribuyeron la disminución del calcio al incremento de peso de la fruta; lo cual concuerda con el periodo de elongación celular de los frutos (Saure, 2005).

Los valores de calcio fueron más altos en la cáscara que en la pulpa en todos los tiempos analizados, obteniéndose hasta 0.17 % a los 40 días (Figura 1). Una mayor concentración de calcio en la cáscara fue reportada por Do Amarante et al. (2013) y Manzoor et al. (2012). Los valores obtenidos de calcio en este estudio están dentro del rango de valores reportados por Monge Pacheco et al. (1994), quienes atribuyen las variaciones a la especie, al órgano muestreado y a las condiciones de crecimiento de la planta. El calcio es el responsable de la formación de la lámina media, estructura y permeabilidad de la pared celular, así como también de la elongación y división celular. Cuando la concentración de este elemento no es suficiente, la pared celular pierde su integridad y estabilidad, ocasionando desórdenes fisiológicos (Herrera-Basurto et al., 2008). El *bitter-pit* es uno de los desórdenes fisiológicos que más afecta a la manzana y que se relaciona con la concentración de calcio (Monge Pacheco et al., 1994; Val & Blanco, 2000). Los frutos analizados en este estudio no presentaron afectación por *bitter-pit*.

El calcio juega un papel esencial también en funciones del organismo, por lo que la ingesta de frutas como la manzana es altamente recomendada (Martínez de Victoria, 2016); al momento de cosecha la concen-

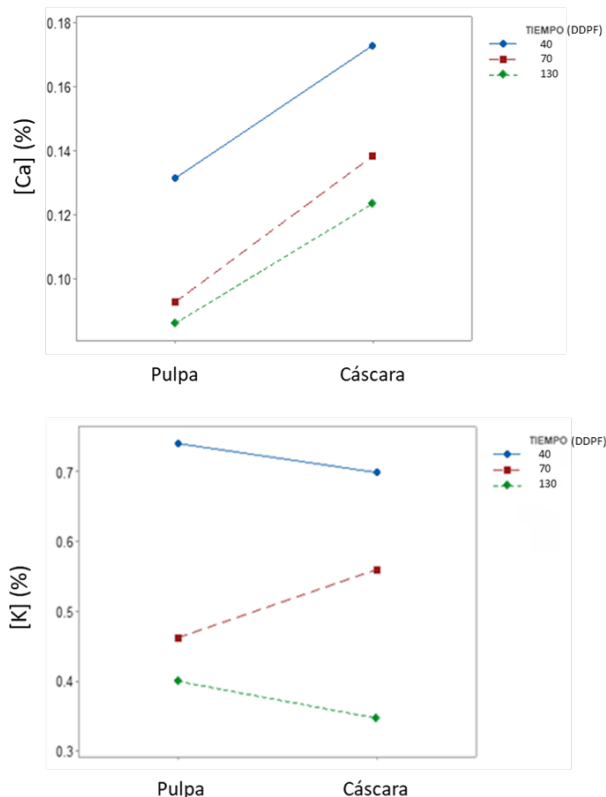


Figura 1. Contenido de calcio y potasio durante los 40, 70 y 130 días después de plena floración (DDPF) en pulpa y cáscara de manzana Golden Glory cultivadas en Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

tración de calcio disminuyó, pero aún se considera importante su aporte, el cual es hasta del doble en la cáscara (Figura 1).

Con respecto a la concentración de potasio, se observó una tendencia similar a la obtenida para el calcio; el potasio disminuyó durante el desarrollo del fruto (Figura 1). Torres et al. (2017) obtuvieron resultados similares al analizar la composición de manzana Golden durante su desarrollo.

El contenido de potasio fue estadísticamente similar en la pulpa y cáscara de manzana ($p > 0.05$). Estos resultados difieren de los obtenidos por Manzoor et al. (2012), quienes encontraron un mayor contenido de potasio en pulpa que en la cáscara de manzanas Golden. En manzano, el potasio es el nutriente que se absorbe en mayores tasas y se ha asociado con los cambios en las propiedades fisicoquímicas de los frutos (Brunetto et al., 2015; Nava et al., 2007).

Magnesio y nitrógeno

El contenido de magnesio de las manzanas fue influenciado significativamente ($p < 0.05$) por el tiempo de

desarrollo y el tejido del fruto, con un coeficiente de correlación ajustado de 88 %. La Figura 2 muestra la tendencia obtenida de la concentración de magnesio por efecto del tiempo de desarrollo del fruto y el tejido analizado. Este macronutriente fue disminuyendo con respecto al tiempo después de plena floración, siendo la cáscara el tejido con la mayor cantidad de magnesio (Figura 2). Esto último es consistente a los reportado por Do Amarante et al. (2013) en manzanas variedad Fuji. La importancia de este elemento es debido a que es requerido en diversos sistemas enzimáticos del metabolismo energético, lo que impacta directamente en la calidad de los frutos (García-Ávila et al., 2015).

El nitrógeno participa en un gran número de procesos fisiológicos y bioquímicos, como en el crecimiento de las plantas, la formación de rendimiento y la calidad de los frutos (Zhao et al., 2020). El contenido de nitrógeno de los frutos analizados se vio afectado significativamente ($p < 0.05$) por los DDPF y el tejido del fruto; el alto R^2_{adj} ($> 91\%$) indica que los datos se ajustaron adecuadamente al modelo estadístico utilizado. En la Figura 2 se observa una disminución del contenido de nitrógeno en la pulpa de la manzana de los 40 a los 130 DDPF. Esta disminución puede atribuirse al efecto de dilución asociado al incremento del tamaño y del contenido de agua del fruto, así como a una menor demanda metabólica de este tejido conforme se reduce la actividad de división celular (Marschner, 2012; Taiz et al., 2015). En la cáscara ocurre lo contrario: una mayor acumulación a los 70 DDPF para volver a disminuir hacia los 130 DDPF. Este comportamiento lo reportan varios autores en variedades de manzana Golden (Romero Domínguez et al., 2017; Torres et al., 2017), a diferencia de Miqueloto et al. (2014), quienes observaron un incremento de este elemento durante el periodo de desarrollo de la fruta de variedades Fuji y Catarina.

Micronutrientes

El contenido de hierro, cobre, níquel, sodio, manganeso y zinc de manzana Golden Glory se muestra en el Cuadro 2. De acuerdo con el ANOVA que se muestra en el Cuadro 3, los micronutrientes se vieron afectados significativamente ($p < 0.05$) por el tiempo, el tejido del fruto o la interacción tiempo-tejido. La concentración de hierro (Fe) fue influenciada significativamente por el tipo de tejido y el tiempo de desarrollo del fruto,

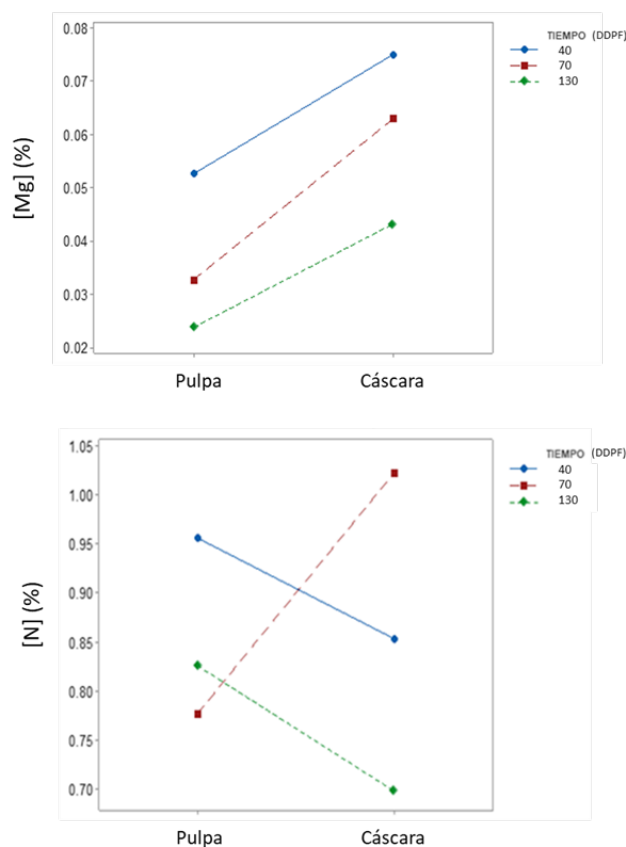


Figura 2. Contenido de magnesio y nitrógeno durante los 40, 70 y 130 días después de plena floración (DDPF) en pulpa y cáscara de manzana Golden Glory cultivadas en Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

registrándose valores de hasta 45.51 ppm en la cáscara a los 130 DDPF, lo cual concuerda con la mayor actividad metabólica de este tejido durante etapas avanzadas del desarrollo del fruto (Taiz et al., 2015). El cobre (Cu) se vio afectado por el tiempo, el tejido del fruto y la interacción tiempo-tejido; conforme avanzaron los DDPF, la concentración de Cu disminuyó tanto en la pulpa como en la cáscara en 9.3 % y 8.7 %, respectivamente, lo que podría asociarse con la etapa fenológica del fruto y una menor demanda metabólica de este micronutriente durante la maduración (Marschner, 2012). Esta tendencia fue contraria a la observada para el níquel (Ni), cuya concentración aumentó con el tiempo de desarrollo del fruto; este comportamiento ha sido asociado a cambios en la partición y movilidad de micronutrientes durante el desarrollo vegetal (Marschner, 2012). Por su parte, el manganeso (Mn) y el zinc (Zn) estuvieron influenciados significativamente por el tiempo, el tejido del fruto y la interacción de ambos factores.

Cuadro 2. Micronutrientes en pulpa y cáscara de manzana Golden Glory durante su desarrollo en Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Tiempo (DDPF)	Tejido	[Fe] (ppm)	[Cu] (ppm)	[Ni] (ppm)	[Na] (%)	[Mn] (ppm)	[Zn] (ppm)
40	Pulpa	33.955 ^a ± 1.760	7.745 ^a ± 0.155	1.583 ^a ± 0.313	0.019 ^a ± 0.004	4.830 ^a ± 0.339	0.500 ^a ± 0.049
70		34.330 ^a ± 1.035	7.557 ^a ± 0.032	2.803 ^b ± 0.809	0.009 ^b ± 0.001	1.082 ^b ± 1.970	1.158 ^b ± 0.182
130		30.760 ^b ± 0.180	7.027 ^b ± 0.037	3.766 ^c ± 0.783	0.008 ^b ± 0.001	2.083 ^c ± 0.544	0.446 ^a ± 0.155
40	Cáscara	36.377 ^a ± 5.997	9.372 ^a ± 0.622	1.545 ^a ± 0.385	0.011 ^a ± 0.000	8.458 ^a ± 1.391	1.167 ^a ± 0.038
70		32.022 ^b ± 0.557	8.782 ^b ± 0.697	2.908 ^b ± 0.339	0.008 ^b ± 0.000	5.827 ^b ± 0.703	1.391 ^b ± 0.277
130		45.510 ^c ± 0.615	6.650 ^c ± 0.957	3.911 ^c ± 0.778	0.013 ^a ± 0.001	4.305 ^c ± 1.718	0.485 ^c ± 0.114

Fe: hierro, Cu: cobre, Ni: níquel, Na: sodio, Mn: molibdeno, Zn: zinc. Las letras diferentes indican diferencias significativas en el tiempo de desarrollo del fruto por cada elemento y tejido.

Cuadro 3. Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del tiempo y tejido en los micronutrientes de manzana Golden Glory cultivada en Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Factor	Micronutrientes					
	[Fe]	[Cu]	[Ni]	[Na]	[Mn]	[Zn]
Tiempo	s	s	s	s	s	s
Tejido	s	s	ns	ns	s	s
Tiempo-tejido	ns	s	ns	s	s	s

Fe: hierro, Cu: cobre, Ni: níquel, Na: sodio, Mn: manganeso, Zn: zinc. S: significativo, ns: no significativo.

De acuerdo con Torri et al. (2005), los micronutrientes se encuentran asociados a enzimas que regulan distintos procesos metabólicos como la respiración (Cu, Fe, Mn y Zn), la fotosíntesis (Cu y Mn) y la síntesis de clorofila (Cu, Fe y Zn). La fertilización con micronutrientes fue mínima en este estudio (Cuadro 1), sin embargo, la acumulación obtenida puede deberse también a las propiedades del suelo. Cabe señalar que la región productora de manzana analizada, ubicada en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, se caracteriza por condiciones semiáridas y alta dependencia del riego, lo que puede favorecer la acumulación de sales y sodio en el suelo (Díaz Caravantes et al., 2014).

CONCLUSIONES

La composición mineral de la manzana Golden Glory estuvo significativamente influenciada por el tiempo de desarrollo del fruto y el tipo de tejido, observándose diferencias notables entre pulpa y cáscara en la distribución de macro y micronutrientes. El contenido de calcio y potasio disminuyó conforme avanzaron los días después de plena floración; sin embargo, el calcio presentó una mayor acumulación en la cáscara, mientras que el potasio fue estadísticamente similar en ambos tejidos. Se identificó una

relación inversa entre el magnesio y el tiempo de desarrollo del fruto, siendo este elemento más abundante en la cáscara. El nitrógeno mostró fluctuaciones significativas asociadas a las demandas metabólicas del fruto durante su desarrollo. Asimismo, los micronutrientes estuvieron influenciados principalmente por el tiempo de desarrollo del fruto, destacando una mayor acumulación en la cáscara de la manzana. El manejo adecuado de los macro y micronutrientes durante el desarrollo del fruto es fundamental para asegurar la calidad de la manzana y reducir la incidencia de desórdenes fisiológicos. En este sentido, los resultados obtenidos resaltan la importancia de implementar prácticas agronómicas específicas de nutrición para optimizar la calidad del fruto.

LITERATURA CITADA

- Aghdam, M. S., Hassanpouraghdam, M. B., Paliyath, G., & Farmani, B. (2012). The language of calcium in post-harvest life of fruits, vegetables and flowers. *Scientia Horticulturae*, 144, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.007>
- Al Shoffe, Y., Nock, J. F., Zhang, Y., & Watkins, C. B. (2021). Physiological disorder development of 'Honeycrisp'

- apples after pre-and post-harvest 1-methylcyclopropane (1-MCP) treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 182, 111703. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111703>
- Artés, F., & Artés-Hernández, F. (2002). Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. En A. López, A. Esnoz & F. Artés (Eds.) *Avances en ciencias y técnicas del frío* (pp. 299-310). Sociedad Española de Ciencias y Técnicas del Frío.
- Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. En A. G. Norman (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties* (pp. 1149-1178). Amer Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c32>
- Brunetto, G., De Melo, G. W. B., Toselli, M., Quartieri, M., & Tagliavini, M. (2015). The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(4), 1089-1104. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-103/15>
- Carmona-García, J. M., Arredondo-Bustillos, A., Salas-Salazar, N. A., Parra-Quezada, R. A., Rodríguez-Roque, M. J., Flores-Córdova, M. A., Ojeda-Barrios, D. L., & Soto-Caballero, M. C. (2024). Monitoring flowering phenology of apple trees using remote sensing techniques. *Nova Geodesia*, 4(2), 196. <https://doi.org/10.55779/ng42196>
- Díaz Caravantes, R. E., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C., & Sánchez Flores, E. (2014). Análisis geoespacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área periurbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. *Investigaciones Geográficas*, (83), 116-130. <https://doi.org/10.14350/rig.32694>
- Do Amarante, C. V. T., Miqueloto, A., de Freitas, S. T., Steffens, C. A., Silveira, J. P. G., & Corrêa, T. R. (2013). Fruit sampling methods to quantify calcium and magnesium contents to predict bitter pit development in 'Fuji' apple: A multivariate approach. *Scientia Horticulturae*, 157, 19-23. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.03.021>
- Fallahi, E., Fallahi, B., Neilsen, G. H., Neilsen, D., & Peryea, F. J. (2010). Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples. *Acta Horticulturae*, 868, 49-60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.868.3>
- Fotirić Akšić, M., Mutić, J., Tešić, Ž., & Meland, M. (2020). Evaluation of fruit mineral contents of two apple cultivars grown in organic and integrated production systems. *Acta Horticulturae*, 1281, 59-66. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2020.1281.10>
- García-Ávila, C. de J., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Colinas-León, M. T. B., Trejo-Téllez, L. I., & Vargas-Madriz, H. (2015). Magnesio y su relación con la calidad de Liliun cv. Casablanca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 265-276.
- Guiné, R. P. F., Barroca, M. J., Coldea, T. E., Bartkiene, E., & Anjos, O. (2021). Apple fermented products: An overview of technology, properties and health effects. *Processes*, 9(2), 223. <https://doi.org/10.3390/pr9020223>
- Herrera-Basurto, J., Martínez-Damián, M. T., Castillo-González, A. M., Barrientos-Priego, A. F., Colinas-León, M. T., Pérez-Mercado, C. A., & Aguilar-Melchor, J. J. (2008). Concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa de aguacate cv. 'Fuerte' por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 289-295.
- Manzoor, M., Anwar, F., Saari, N., & Ashraf, M. (2012). Variations of antioxidant characteristics and mineral contents in pulp and peel of different apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars from Pakistan. *Molecules*, 17(1), 390-407. <https://doi.org/10.3390/molecules17010390>
- Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- Martínez de Victoria, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 33(Supl. 4): 26-31. <https://doi.org/10.20960/nh.341>
- Miqueloto, A., do Amarante, C. V. T., Steffens, C. A., dos Santos, A., & Mitcham, E. (2014). Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit. *Scientia Horticulturae*, 165, 319-323. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.029>
- Monge Pacheco, E., Val Falcón J., Sanz Encinas, M., Blanco Braña, Á., & Montañés García, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei*, 21(3), 189-201.
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409-430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Nava, G., Dechen, A. R., & Nachtigall, G. R. (2007). Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in southern Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39(1-2), 96-107. <https://doi.org/10.1080/00103620701759038>
- Romero Domínguez, L., Parra Quezada, R. Á., Jacobo Cuellar, J. L., Ojeda Barrios, D. L., Guerrero Prieto, V. M., Ávila Quezada, G. D., & Ruiz Anchondo, T. de J. (2017). Respuesta de portainjertos de manzano a vigor,

- eficiencia de producción y concentraciones foliar y en fruto de NPK. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 849-861. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.12>
- Saure, M. C. (2005). Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, 105(1), 65-89. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.10.003>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). *Panorama agroalimentario 2020*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Soto Parra, J. M., Flores-Cordova, M. A., Sánchez Chávez, E., Pérez Lean, R., & Piña Ramírez, F. J. (2020). Compensadores de frío en manzano 'Golden Glory': desarrollo y producción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 69-82. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1744>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates.
- Torres, E., Recasens, I., Àvila, G., Lordan, J., & Alegre, S. (2017). Early stage fruit analysis to detect a high risk of bitter pit in 'Golden Smoothee'. *Scientia Horticulturae*, 219, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.003>
- Torri, S., Urricariet, S., & Lavado, R. (2005). *Micronutrientes y elementos traza. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Potash & Phosphate Institute; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Val, J., & Blanco, A. (2000). *Nutrición cálcica y bitter-pit*. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario.
- Webster, D. H. (1981). Mineral composition of apple fruits. Relationships between and within peel, cortex and whole fruit samples. *Canadian Journal of Plant Science*, 61(1), 73-85. <https://doi.org/10.4141/cjps81-010>
- Zhao, H., Sun, S., Zhang, L., Yang, J., Wang, Z., Ma, F., & Li, M. (2020). Carbohydrate metabolism and transport in apple roots under nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 155, 455-463. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.037>