



## CALIDAD DE FRUTO DE CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* RUIZ & PAV.) INJERTADO EN CM-334 (*Capsicum annuum* L.) CRECIDO EN SUELO INFESTADO CON *Phytophthora capsici* LEONIAN

### FRUIT QUALITY OF MANZANO PEPPER (*Capsicum pubescens* RUIZ & PAV.) GRAFTED ON CM-334 (*Capsicum annuum* L.) GROWN IN SOIL INFESTED WITH *Phytophthora capsici* LEONIAN

Tabita Queren Pérez-Reyes<sup>1</sup>, Santos Gerardo Leyva-Mir<sup>2</sup>, Mario Pérez-Grajales<sup>1\*</sup>, María Teresa Martínez-Damián<sup>1</sup>, Iván Ramírez-Ramírez<sup>3</sup> y Rogelio Castro-Brindis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura, Chapingo, Estado de México, México., <sup>2</sup>UACH, Departamento de Parasitología Agrícola, Micología Agrícola, Chapingo, Estado de México, México. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Montecillo, Estado de México, México<sup>3</sup>

\*Autor de correspondencia (mperezg@chapingo.mx)

#### RESUMEN

En *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. el principal problema fitosanitario es ocasionado por *Phytophthora capsici* Leonian, que afecta negativamente la calidad de los frutos, por lo que una alternativa de producción en suelos infestados con este oomicete es el uso del portainjerto CM-334 (*Capsicum annuum* L.) resistente universal a *P. capsici*. Por este motivo, se evaluó el efecto del portainjerto CM-334 sobre variables morfológicas, físicas y fitoquímicas de la calidad de fruto del híbrido Dali de chile manzano, cultivado en suelo infestado con *P. capsici* y con aplicaciones de auxinas, bajo la hipótesis de que el portainjerto de *C. annuum* evita la pérdida de plantas por infección de *P. capsici* sin disminuir la calidad de fruto del injerto de *C. pubescens*, con o sin auxinas. El experimento fue establecido en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. La evaluación se realizó en la cuarta cosecha de frutos, de un total de siete cosechas. El análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) fue acorde con un arreglo factorial  $2 \times 4 \times 4$ . Los resultados muestran que la calidad no disminuyó por efecto del portainjerto CM-334; por el contrario, se incrementó grosor de pericarpio, firmeza y contenido de capsaicinoides, los cuales constituyen atributos positivos sobre la calidad de fruto de chile manzano. Los frutos de plantas injertadas sin ácido indolbutírico (IBA) presentaron 45 % más picor que las plantas no injertadas, y con 800 ppm de IBA aplicadas cada 30 días se incrementó aún más (24 %). El uso de plantas injertadas del híbrido Dali de chile manzano es una alternativa viable para producir frutos de calidad en condiciones de cultivo de suelos infestados con *P. capsici*, incluso sin aplicar auxinas.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, *Capsicum pubescens*, *Phytophthora capsici*, auxinas, calidad fitoquímica, injerto.

#### SUMMARY

In *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. the main phytosanitary problem is caused by *P. capsici* Leonian, which negatively affects the quality of the fruits; thus, an alternative for production in soils infested with this oomycete is the use of the rootstock CM-334 (*Capsicum annuum* L.) universally resistant to *P. capsici*. For this reason, the effect of the rootstock CM-334 (*C. annuum* L.) on morphological, physical and phytochemical variables of fruit quality of the Dali hybrid of manzano pepper grown in soil infested with *P. capsici* and with auxin applications was evaluated, under the hypothesis that the *C. annuum* rootstock prevents loss of plants due to infection by *P. capsici* without reducing the fruit quality of the *C. pubescens* graft with or without auxins. The experiment was established in a completely randomized design with three replications and the evaluation was carried out on the fourth fruit harvest, out

of seven total harvests. The analysis of variance and Tukey comparison of means ( $P \leq 0.05$ ) was according to a  $2 \times 4 \times 4$  factorial arrangement. The results show that fruit quality did not decrease by effect of the CM-334 rootstock; on the contrary, the pericarp thickness, firmness and capsaicinoid content increased, which are positive attributes on the quality of the manzano pepper. Fruits from plants grafted without indole butyric acid (IBA) had 45 % more pungency than ungrafted plants, and with 800 ppm of IBA applied every 30 days it increased even more (24 %). The use of grafted plants of the hybrid Dali of manzano pepper is a viable alternative to produce quality fruits in growing conditions of soils infested with *P. capsici*, even without applying auxins.

**Index words:** *Capsicum annuum*, *Capsicum pubescens*, *Phytophthora capsici*, auxins, graft, phytochemical quality.

#### INTRODUCCIÓN

La calidad del fruto de chile manzano es afectada por la marchitez del chile, causada por *Phytophthora capsici* (Barchenger et al., 2018); inicialmente, los frutos muestran pequeñas lesiones oscuras acuosas con centros de color blanco, que se expanden rápidamente y en pocos días el fruto se pudre completamente (Saltos et al., 2022). Para el control de este patógeno se emplean fungicidas sintéticos que resultan altamente nocivos para la salud humana y el ambiente (Luna-García et al., 2023), por lo que una alternativa viable es el empleo del portainjerto serrano Criollo de Morelos 334 (CM-334), reconocido como resistente universal a *P. capsici* (Castro-Rocha et al., 2016). El injerto puede mejorar las características agronómicas, la resistencia al estrés biótico y el rendimiento, pero las características de calidad y composición nutrimental del fruto podrían ser modificadas de manera favorable o desfavorable (Greathouse et al., 2021). Por su parte, Ropokis et al. (2019) consideran que los portainjertos alteran la arquitectura radical, lo que podría reducir el transporte de agua y nutrientes; no obstante, la aplicación exógena de auxinas puede promover y acelerar la formación de raíces adventicias en plantas injertadas (Saini y Deepanshu,

2023), lo que podría interferir en la calidad de fruto.

Por otra parte, a pesar de que el chile manzano es una planta de ciclo perenne, los daños ocasionados por *P. capsici* lo hacen un cultivo de ciclo anual, incluso en ocasiones las plantas mueren antes de la primera cosecha (Vallejo-Gutiérrez et al., 2019). Una alternativa viable es el uso de injertos con calidad de fruto sobre portainjertos resistentes. Al respecto, Pérez-Grajales et al. (2021) comprobaron que existe compatibilidad de injerto entre híbridos de chile manzano (susceptible a *P. capsici*) y el chile serrano Criollo de Morelos CM-334 (resistente universal a *P. capsici*) en condiciones de hidroponía; sin embargo, es necesario comprobar si las plantas injertadas son capaces de producir frutos de la misma calidad que las no injertadas cuando son cultivadas en suelo infestado con *P. capsici*. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del portainjerto CM-334 (*C. annuum* L) sobre variables morfológicas, físicas y fitoquímicas de calidad de fruto del híbrido Dali de chile manzano cultivado en suelo infestado con *P. capsici* y con aplicación de auxinas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental y material vegetal

El experimento se estableció en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Chapingo (UACh), Estado de México ( $19^{\circ} 29' 22.2''$  LN y  $98^{\circ} 52' 24.7''$  LO, a 2250 m de altitud). Los niveles promedio de temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa y  $\text{CO}_2$  fueron  $18.7^{\circ}\text{C}$ , 68.9 %, 525  $\mu\text{moles}$  de fotones  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y 450 ppm, respectivamente. Se empleó como injerto al híbrido Dali de chile manzano generado en el programa de mejoramiento genético en la UACh, con registro SNICS 1299, y como portainjerto a la variedad CM-334 que es resistente a *P. capsici* (Castro-Rocha et al., 2016).

### Manejo agronómico

La técnica de injerto se hizo de acuerdo con lo descrito por Pérez-Grajales et al. (2021). El trasplante de plantas injertadas y no injertadas se realizó 70 días después del injerto, a bolsas de plástico de  $50 \times 50 \text{ cm}$  rellenadas con suelo infestado con 15 esporangios por mL de *P. capsici* que se determinaron mediante la metodología propuesta por Aristizábal y Torres (2015). El aislamiento de tejido vegetal de plantas enfermas fue de acuerdo con Soto et al. (2017), y la identificación morfológica de *P. capsici* se hizo con las claves tabulares de Martin et al. (2012). Las plantas se cultivaron de acuerdo con la técnica de manejo propuesta por Pérez y Castro (2008) para chile manzano.

### Diseño experimental y de tratamientos

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con 20 tratamientos conforme a un arreglo factorial  $2 \times 4 \times 4$  y tres repeticiones. Los factores de estudio fueron: injerto (plantas injertadas y no injertadas), concentración de ácido indolbutítrico (AIB) (0, 800, 1200 y 1600 ppm), y frecuencia de aplicación (0, 15, 30 y 45 días). Los tratamientos se aplicaron a la raíz a partir de los tres meses después del trasplante y duraron cuatro meses. La evaluación de calidad de fruto en cada tratamiento se hizo en los tres frutos de mayor tamaño de cada una de tres plantas, y cada planta se consideró como una unidad experimental.

### Variables morfológicas de calidad

1) Volumen de fruto, medido a través el agua desplazada (mL) por un fruto en una probeta graduada de 1 L; 2) grosor de pericarpio, medido con vernier digital (Truper®, México) en la zona ecuatorial de cada fruto; 3) número de lóculos, contados en un corte transversal en la parte media del fruto; 4) número de semillas maduras (color negro) extraídas de la placenta de cada fruto; 5) peso de semillas (g), con una balanza electrónica digital (Scout Pro SP202®, Ohaus, Parsippany, Nueva Jersey, EUA) con aproximación de 0.01 g.

### Variables físicas de calidad

1) Firmeza, se midió en la zona ecuatorial con un texturómetro digital (Compact Gauge®, Mecmesin, Slinfold, West Sussex, Reino Unido), en newtons (N); 2) color, se midió en la parte ecuatorial con un colorímetro (ColorTec-PCM™, Cole Palmer, Vernon Hills, Illinois, EUA) el cual generó los valores de L, a y b; con éstos, se calculó el matiz (hue) y la pureza del color (chroma) (Medina-Torres et al., 2021).

### Variables fitoquímicas de calidad

1) Sólidos solubles totales (SST), medidos con un refractómetro digital manual portátil (PAL 1®(Atago Co., Ltd., Tokio, Japón); 2) acidez titulable, medida con la metodología de Latimer (2023): 10 g de cada fruto se licuaron con 50 mL de agua destilada; de esa mezcla se tomó una alícuota de 10 mL que se neutralizó con NaOH 0.1 N, con uso de fenolftaleína 1 % como indicador; 3) contenido de vitamina C, determinada con el método de Tillman (Latimer, 2023): se licuaron 5 g de fruto con 50 mL de ácido oxálico, y se tomó una alícuota de 5 mL, que fue titulada con solución de Tillman; 4) contenido de carotenoides, en una muestra por cada unidad experimental se colocaron 5 g de fruto en 20 mL de acetona 80 % durante 24 h en completa

oscuridad; la solución obtenida se filtró y aforó a 25 mL; la lectura de absorbancia se hizo a 476, 646 y 663 nm con un espectrofotómetro (Genesys™ 10S UV VIS, Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA) (Villada *et al.*, 2023); 5) cuantificación de capsaicinoides mediante HPLC, los extractos se prepararon con frutos deshidratados en liofilizadora (FreeZone18, Labconco, Kansas City, Missouri, EUA) durante 72 h, de donde se obtuvo 1 g de muestra a la que se adicionaron 5 mL de acetonitrilo, la mezcla se colocó en baño maría durante 5 h a 70 °C y posteriormente se centrifugó a 4000 rpm durante 20 min en centrifuga (Hermile Labortechnik®, Schaltbau GmbH Group, Munich, Alemania), se recuperó el sobrenadante y se filtró con acrodiscos de 0.47 µm, de donde se tomaron 20 µL para ser inyectados en un cromatógrafo automatizado (Agilent®, Agilent Technologies, Santa Clara, California, EUA) (Pérez-Grajales *et al.*, 2018).

### Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza conforme a un arreglo factorial 2 × 4 × 4 de un diseño completamente al azar, y la comparación múltiple de medias se hizo con la prueba

de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Las interacciones estudiadas fueron injerto × concentración de AIB e injerto × frecuencia de aplicación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables morfológicas de calidad

#### Efectos principales del injerto, concentración de AIB y frecuencia

No hubo diferencias significativas en número de lóculos, peso y número de semillas a causa del injerto, ni por efecto de concentración de AIB y frecuencia de aplicación (Cuadro 1). La falta de efecto del factor injerto se atribuye a que la raíz no influyó en el control de estas características de la calidad del fruto (Martínez-Rodríguez *et al.*, 2008).

El portainjerto no tuvo efectos negativos en volumen de fruto, lo que es un indicador de la compatibilidad entre el injerto y portainjerto (Rasool *et al.*, (2020). Con las aplicaciones de AIB se encontró que los frutos con mayor volumen (96.76 mL) fueron de plantas tratadas

**Cuadro 1. Medias de variables morfológicas de fruto de Dali de chile manzano en respuesta al injerto, concentración de AIB y frecuencia de aplicación.**

| Factor                     | Niveles      | V (mL)  | NL    | GP (mm) | NS      | PS (g) |
|----------------------------|--------------|---------|-------|---------|---------|--------|
| Injerto                    | No injertada | 91.8 a  | 3.4 a | 6.0 b   | 108.5 a | 1.9 a  |
|                            | Injertada    | 91.6 a  | 3.4 a | 6.4 a   | 112.1 a | 1.8 a  |
| DSH                        |              | 3.4     | 0.1   | 0.1     | 11.4    | 0.2    |
| Concentración de AIB (ppm) | 0            | 86.3 b  | 3.5 a | 6.1 a   | 104.1 a | 1.8 a  |
|                            | 800          | 93.3 ab | 3.5 a | 6.4 a   | 105.6 a | 1.8 a  |
|                            | 1200         | 95.9 a  | 3.4 a | 6.0 a   | 114.2 a | 1.8 a  |
|                            | 1600         | 7.7 b   | 3.4 a | 6.2 a   | 113.2 a | 1.9 a  |
| DSH                        |              | 7.1     | 0.3   | 0.3     | 24.0    | 0.4    |
| Frecuencia (días)          | 0            | 86.3 b  | 3.5 a | 6.1 a   | 104.1 a | 1.8 a  |
|                            | 15           | 90.4 ab | 3.4 a | 6.1 a   | 109.5 a | 1.8 a  |
|                            | 30           | 89.8 ab | 3.5 a | 6.1 a   | 109.0 a | 1.9 a  |
|                            | 45           | 96.7 a  | 3.3 a | 6.3 a   | 114.5 a | 1.9 a  |
| DSH                        |              | 7.1     | 0.3   | 0.3     | 24.0    | 0.4    |
| CV (%)                     |              | 7.1     | 10.4  | 5.7     | 19.8    | 22.8   |

V: volumen de fruto, NL: número de lóculos, GP: grosor de pericarpio, NS: número de semillas, PS: peso de semillas. Valores con la misma letra en la misma columna dentro de cada factor de variación no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

con 1200 ppm de AIB cada 45 días (Cuadro 1), con un incremento significativo de 10 %, lo que puede atribuirse al alargamiento y aumento de las células, inducidos por la acción de las auxinas (Anbarasi y Venkatraman, 2022).

El pericarpio de los frutos de plantas injertadas fue 6 % más grueso que el de las no injertadas (Cuadro 1), lo que concuerda con lo reportado por Doñas-Uclés *et al.* (2014) en frutos de pimiento (*C. annuum*). El mayor grosor de pericarpio es un atributo positivo, dado que hay más resistencia del fruto a *P. capsici* (Kyriacou *et al.*, 2016) y menor pérdida de peso en poscosecha (Pérez-Grajales *et al.*, 2021). Las dosis de concentración de AIB y las frecuencias de aplicación no provocaron diferencias significativas sobre esta característica morfológica, lo que concuerda con resultados de Salasa *et al.* (2009) en frutos de pimiento.

#### Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia

Las interacciones no presentaron efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) en número de lóculos, peso y número de semillas; en cambio, en volumen de los frutos los mayores valores (97.02 mL) fueron de plantas no injertadas y tratadas con 1200 ppm de AIB (Cuadro 2). Esto posiblemente se debe a que el sistema radical del chile manzano (planta perenne y de porte alto) es de mayor tamaño que el del chile CM-334, que es una planta anual y de porte pequeño. El mayor volumen de raíz se asoció con mayor absorción de agua y nutrientos, lo que también es favorecido por las auxinas

aplicadas que inducen y aceleran la formación de raíces laterales (Faruk *et al.*, 2023); además, las auxinas son importantes para el crecimiento del fruto, desde la etapa de floración hasta la de maduración de frutos (Zheng *et al.*, 2023).

En las interacciones, el factor injerto incrementó el grosor de pericarpio sin importar la concentración de AIB y frecuencia de aplicación (Cuadro 2). En cuanto al efecto de auxinas sobre el fruto, los resultados obtenidos son similares a los reportados por Salas *et al.* (2009) en frutos de pimiento.

#### Variables físicas de calidad

##### Efectos principales del injerto, concentración de AIB y frecuencia

En firmeza de fruto se encontró que las plantas injertadas produjeron frutos con 15 % más de firmeza respecto a las plantas no injertadas. De acuerdo con Roushafel *et al.* (2018), la mayor firmeza de fruto obedece a la turgencia celular y a las propiedades químicas de las paredes celulares. Las concentraciones de AIB y las frecuencias de aplicación no causaron diferencias significativas en firmeza de fruto (Cuadro 3), ya que su respuesta fue similar al tratamiento testigo. Estos resultados coinciden con la falta de efectos encontrado por Salasa *et al.* (2009) al aplicar ácido naftalenacético (ANA), y por López-Elías *et al.* (2005) con plantas de pimiento (*C. annuum L.*) tratadas con AIB.

**Cuadro 2. Comparación de medias de las interacciones: injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación, sobre variables morfológicas de fruto de la var. Dali de chile manzano.**

| Interacción | V (mL)   | GP (mm)  | Interacción | V (mL)   | GP (mm)  |
|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|
| I × C       |          |          |             |          | I × F    |
| pni × 0     | 83.33 b  | 5.7 c    | pni × 0     | 83.33 b  | 5.7 c    |
| pni × 800   | 94.07 ab | 6.43 ab  | pni × 15    | 90.74 ab | 5.91 bc  |
| pni × 1200  | 97.03 a  | 5.9 bc   | pni × 30    | 90.37 ab | 5.93 bc  |
| pni × 1600  | 87.22 ab | 5.87 bc  | pni × 45    | 97.22 a  | 6.35 ab  |
| pi × 0      | 89.44 ab | 6.61 a   | pi × 0      | 89.44 ab | 6.61 a   |
| pi × 800    | 92.59 ab | 6.41 ab  | pi × 15     | 90.18 ab | 6.38 ab  |
| pi × 1200   | 94.81 ab | 6.18 abc | pi × 30     | 89.26 ab | 6.44 ab  |
| pi × 1600   | 88.33 ab | 6.57 a   | pi × 45     | 96.29 a  | 6.34 abc |
| DSH         | 12.1     | 0.65     | DSH         | 12.1     | 0.65     |

I: injerto, C: concentración en ppm, F: frecuencia en días, pni: plantas no injertadas, pi: plantas injertadas, V: volumen de fruto, NL: número de lóculos, GP: grosor de pericarpio, NS: número de semillas, PS: peso de semillas, C: concentración de AIB en ppm, frecuencia en días. Valores con la misma letra en la misma columna dentro de cada columna no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DSH: diferencia significativa honesta.

**Cuadro 3. Medias de variables físicas de fruto de chile manzano var. Dali en respuesta al injerto, concentración y frecuencia de aplicación de AIB.**

| Factor         | Niveles            | Firmeza (N)    | Color          |                |                |
|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                |                    |                | Chroma         | Hue            | Luminosidad    |
| Injerto        | No injertada       | 40.4 b         | 50.5 a         | 71.4 a         | 43.5 a         |
|                | Injertada          | 47.6 a         | 51.2 a         | 68.9 a         | 42.5 a         |
| DSH            |                    | 2.9            | 4.4            | 4.4            | 1.7            |
| C <sup>†</sup> | 0, 800, 1200, 1600 | 42.6 - 45.1 ns | 48.0 - 52.6 ns | 68.1 - 72.6 ns | 42.8 - 43.8 ns |
| DSH            |                    | 6.2            | 9.3            | 9.3            | 3.6            |
| F <sup>†</sup> | 0, 15, 30, 45      | 42.6 - 44.9 ns | 47.5 - 54.5 ns | 69.6 - 70.3 ns | 42.6 - 43.8 ns |
| DSH            |                    | 6.2            | 9.3            | 9.3            | 3.6            |
| CV (%)         |                    | 12.9           | 16.7           | 12.1           | 7.7            |

C: concentración de AIB en ppm; F: frecuencia en días. Valores con la misma letra en la misma columna dentro de cada factor de variación no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, P ≤ 0.05), <sup>†</sup>Rangos de mínimo y máximo, ns: no significativo (P ≤ 0.05), DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

En el color del fruto no hubo diferencias significativas por efecto del injerto, concentración ni frecuencia de AIB (Cuadro 3). Esta característica tampoco cambió al injertar pimiento (Sánchez *et al.*, 2015) ni al aplicar AIA (Pérez-Jiménez *et al.*, 2015).

#### Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia

Ninguna interacción tuvo efectos significativos en firmeza y color de fruto (Cuadro 4), esto implica que las plantas injertadas de chile manzano no requieren recibir aplicaciones de AIB para producción de frutos cuando las plantas sean crecidas en suelos infestados con *P. capsici*, ya que los frutos así producidos conservan importantes características de calidad física, como también reportaron Wang *et al.* (2021).

#### Variables fitoquímicas de calidad

##### Efectos principales del injerto, concentración de AIB y frecuencia

La acidez titulable y SST no fueron modificados por el injerto, ni por la concentración ni frecuencia de aplicar AIB (Cuadro 5). Resultados similares reportaron Birkás *et al.* (2021) y Vega-Alfaro *et al.* (2021) en frutos de pimiento injertado, lo que se atribuye a la compatibilidad entre injerto y portainjerto.

En vitamina C y contenido de carotenoides tampoco se encontraron diferencias significativas causadas por el injerto, como también reportaron Pérez-Grajales et

*al.* (2021) en injertos de híbridos de chile manzano, y Sánchez-Torres *et al.* (2016) en injertos de pimiento morrón; en cambio, Gisbert-Mullor *et al.* (2020) detectaron incrementos de vitamina C por efecto del injerto en frutos de pimiento, pero en carotenoides no se encontraron diferencias. Con 1600 ppm de AIB los frutos de chile manzano presentaron mayor contenido de carotenoides (2.48 µg 100 g<sup>-1</sup> de fruto), y un poco más (2.54 µg 100 g<sup>-1</sup> de fruto) cuando la frecuencia de aplicación fue cada 15 días (Cuadro 5). Lo anterior se atribuye a que las auxinas están involucradas en el aumento de la actividad fotosintética (Sanam y Topno, 2022).

Los frutos de plantas injertadas presentaron 20 % más de capsaicinoides totales con respecto a los de plantas no injertadas (Cuadro 5). El AIB también indujo un mayor contenido de capsaicinoides en el fruto, sobre todo con aplicaciones de 800 y 1600 ppm cada 30 días. Estos resultados muestran que si bien el contenido de capsaicinoides está regulado primariamente por el genotipo, también influyen otras condiciones como el grado de desarrollo del fruto y las condiciones de manejo del cultivo (Fayos *et al.*, 2019).

#### Interacciones entre injerto, concentración de AIB y frecuencia

En acidez titulable, sólidos solubles totales, vitamina C y contenido de carotenoides, así como las interacciones no tuvieron efectos significativos, por lo que en el Cuadro 6 se muestran los intervalos de mínimos y máximos para cada variable.

**Cuadro 4. Rangos de mínimos y máximos de la interacción de los factores: injerto, concentración y frecuencias de aplicación de AIB en variables físicas de fruto de chile manzano var. Dali.**

| Interacciones                        | Firmeza (N)    | Color          |                |                |
|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                      |                | Chroma         | Hue            | Luminosidad    |
| Injerto × Concentración de AIB (ppm) | 37.8 - 48.1 ns | 46.2 - 55.7 ns | 66.6 - 76.3 ns | 41.9 - 45.6 ns |
| DSH                                  | 10.52          | 15.75          | 15.78          | 6.12           |
| Injerto × Frecuencia (días)          | 39.7 - 48.6 ns | 46.2 - 54.9 ns | 66.0 - 76.3 ns | 41.9 - 45.6 ns |
| DSH                                  | 10.52          | 15.75          | 15.78          | 6.12           |

ns: no significativo ( $P \leq 0.05$ ), DSH: diferencia significativa honesta.

**Cuadro 5. Medias de variables fitoquímicas de fruto de Dali de chile manzano en respuesta al injerto, concentración de AIB y frecuencias de aplicación.**

| Factor              | Niveles      | AT    | SST   | VC      | CC     | CT      |
|---------------------|--------------|-------|-------|---------|--------|---------|
| Injerto             | No injertada | 0.3 a | 1.2 a | 37.3 a  | 2.2 a  | 447.2 b |
|                     | Injertada    | 0.3 a | 1.3 a | 36.1 a  | 2.0 a  | 553.8 a |
| DSH                 |              | 0.0   | 0.06  | 3.2     | 0.3    | 0.05    |
| Concentración (ppm) | 0            | 0.3 a | 1.2 a | 42.8 a  | 2.1 ab | 394.4 c |
|                     | 800          | 0.3 a | 1.3 a | 36.4 ab | 1.6 b  | 554.6 b |
|                     | 1200         | 0.3 a | 1.2 a | 35.7 b  | 2.2 ab | 349.0 d |
|                     | 1600         | 0.3 a | 1.2 a | 36.0 ab | 2.4 a  | 633.4 a |
| DSH                 |              | 0.05  | 0.1   | 6.8     | 0.7    | 0.1     |
| Frecuencia (días)   | 0            | 0.3 a | 1.2 a | 42.8 a  | 2.1 ab | 394.4 c |
|                     | 15           | 0.3 a | 1.3 a | 34.5 b  | 2.5 a  | 375.1 d |
|                     | 30           | 0.3 a | 1.2 a | 34.5 b  | 1.7 b  | 717.6 a |
|                     | 45           | 0.2 a | 1.3 a | 39.2 ab | 2.0 ab | 444.2 b |
| DSH                 |              | 0.05  | 0.1   | 6.8     | 0.7    | 0.1     |
| CV (%)              |              | 14.8  | 9.6   | 17.0    | 31.6   | 0.02    |

AT: acidez titulable en %, SST: sólidos solubles totales en °Brix, VC: vitamina C en µg por 100 g de fruto, CC: contenido de carotenoides en µg por 100 g de fruto, CT: capsaicinoides totales en miles de SHU. Valores con la misma letra en la misma columna dentro de cada factor de variación no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

El contenido de capsaicinoides presentó diferencias significativas en las interacciones. Sin aplicación de AIB el injerto de chile manzano indujo 45 % mayor picor del fruto con respecto a los no injertados, y la aplicación de dicha hormona incrementó aún más en 24 % el picor. En plantas no injertadas el empleo de AIB duplicó el contenido de capsaicinoides; es decir, el injerto por sí solo causó mayor síntesis de capsaicinoides (Figura 1A). Respecto a la frecuencia, con aplicaciones cada 30 días se obtuvo el mayor contenido de capsaicinoides en frutos, tanto en plantas injertadas como no injertadas (Figura 1B). En este estudio el mayor picor en plantas injertadas podría explicarse por los mecanismos asociados con la resistencia genética del portainjerto CM-334, que involucra

la expresión de genes *PAL*, mediante incrementos en la actividad de la fenilalanina amonio-lisasa (*PAL*), enzima importante en el metabolismo de los fenilpropanoides, a través de la cual se sintetizan compuestos naturales como los capsaicinoides (Hamed et al., 2019).

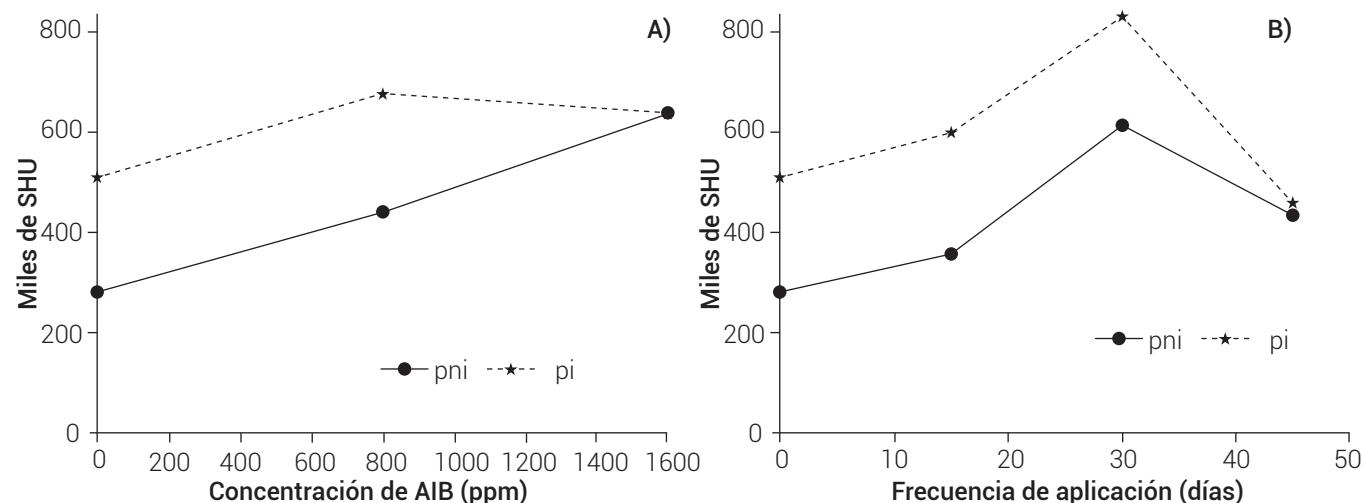
## CONCLUSIONES

La calidad morfológica, física y fitoquímica de frutos de plantas del híbrido Dali de chile manzano injertado en chile CM-334 no disminuyó con respecto a plantas sin injertar, ya que las variables volumen, grosor de pericarpio, número de lóculos, número de semillas, peso de semillas, firmeza, color, acidez, sólidos solubles totales, vitamina

**Cuadro 6. Rangos de mínimos y máximos de la interacción de los factores: injerto, concentración y frecuencias de aplicación de AIB en variables fitoquímicas de fruto de Dali de chile manzano.**

| Interacciones           | AT             | SST            | VC             | CC             |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Injerto × Concentración | 0.29 - 0.34 ns | 1.23 - 1.35 ns | 33.6 - 43.4 ns | 1.55 - 2.43 ns |
| DSH                     | 0.008          | 0.23           | 11.5           | 1.24           |
| Injerto × Frecuencia    | 0.26 – 0.34 ns | 1.21 - 1.38 ns | 32.6 - 43.4 ns | 1.45 - 2.57 ns |
| DSH                     | 0.08           | 0.23           | 11.5           | 1.24           |

AT: Acidez titulable en %, SST: sólidos solubles totales en °Brix, VC: vitamina C µg por 100 g de fruto, CC: contenido de carotenoides en µg por 100 g de fruto, ns: no significativo ( $P \leq 0.05$ ), DSH: diferencia significativa honesta.



**Figura 1. A) interacción de la concentración de AIB (ppm) con el factor injerto y B) interacción de la concentración con el factor injerto sobre el picor en unidades Scoville. pni: plantas no injertadas, pi: plantas injertadas**

C, contenido de carotenoides y capsaicinoides totales, no disminuyeron significativamente con el injerto; por el contrario, se incrementó el grosor del pericarpio, la firmeza y los capsaicinoides. Con la aplicación periódica de 800 ppm de AIB cada 30 días, las plantas injertadas incrementaron el contenido de capsaicinoides. Se concluye que el injerto del híbrido Dali de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) en el portainjerto serrano criollo de Morelos CM-334 (*Capsicum annuum* L) es una alternativa viable para producir frutos de calidad de este cultivo en suelos infestados con el oomiceto *P. capsici*.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anbarasi D. and M. Venkatraman (2022) Effect of plant growth regulators on growth, yield and quality characters of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Annals of Plant and Soil Research* 24:543-546, <https://doi.org/10.47815/apsr.2022.10206>
- Aristizábal C. N. and C. Torres G. (2015) Morphological and molecular characterization of *Phytophthora* in pepper (*Capsicum frutescens* var. Tabasco), Valle del Cauca. *Revista de Ciencias* 19:71-89.
- Barchenger D. W., K. H. Lamour and P. W. Bosland (2018) Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici*. *Frontiers in Plant Science* 9:628, <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00628>
- Birkás Z., G. Balázs and Z. Kókai (2021) Effect of grafting and growing media on the chosen fruit quality compounds and sensory parameters of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Alimentaria* 50:1-12, <https://doi.org/10.1556/066.2020.00016>
- Castro-Rocha A., S. Shrestha, B. Lyon, G. L. Grimaldo-Pantoja, J. P. Flores-Marges, J. Valero-Galvan, ... and K. Lamour (2016) An initial assessment of genetic diversity for *Phytophthora capsici* in northern and central Mexico. *Mycological Progress* 15:15, <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1157-0>
- Doñas-Uclés F., M. M. Jiménez-Luna, J. A. Góngora-Corral, D. Pérez-Madrid, D. Verde-Fernández and F. Camacho-Ferre (2014) Influence of three rootstocks on yield and commercial quality of "Italian sweet" pepper. *Ciencia e Agrotecnología* 38:538-554, <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000600002>
- Faruk M., M. R. Kumar, D. Arya, M. Panda, R. Kumar, P. Fartiyal and A. Yadav (2023) Impact of auxin and gibberellin on vegetable crops: a review. *International Journal of Environment and Climate Change* 13:791-798, <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102717>
- Fayos O., N. Ochoa-Alejo, O. Martínez V., M. Savirón, J. Orduna, C. Mallor, ... A. Garcés-Claver (2019) Assessment of capsaicinoid and capsinoid

- accumulation patterns during fruit development in three chili pepper genotypes (*Capsicum* spp.) carrying *Pun1* and *pAMT* alleles related to pungency. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67:12219-12227, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05332>
- Gisbert-Mullor R., C. Ceccanti, Y. G. Padilla, S. López-Galarza, Á. Calatayud, G. Conte and L. Guidi (2020)** Effect of grafting on the production, physico-chemical characteristics and nutritional quality of fruit from pepper landraces. *Antioxidants* 9:501, <https://doi.org/10.3390/antiox9060501>
- Greathouse J., S. Henning and M. Soendergaard (2021)** Effect of grafting rootstock on the antioxidant capacity and content of heirloom tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) in hydroponic culture. *Plants* 10:965, <https://doi.org/10.3390/plants10050965>
- Hamed M., D. Kalita, M. E. Bartolo and S. S. Jayanty (2019)** Capsaicinoids, polyphenols and antioxidant activities of *Capsicum annuum*: comparative study of the effect of ripening stage and cooking methods. *Antioxidants* 8:364, <https://doi.org/10.3390/antiox8090364>
- Kyriacou M. C., G. A. Soteriou, Y. Rouphael, A. S. Siomos and D. Gerasopoulos (2016)** Configuration of watermelon fruit quality in response to rootstock-mediated harvest maturity and postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96:2400-2409, <https://doi.org/10.1002/jsfa.7356>
- Latimer G. W. (2023)** Official Methods of Analysis of AOAC International. 22nd edition. AOAC Publications, New York, USA, <https://doi.org/10.1093/9780197610145.002.001>
- López-Elías J., M. C. Salas and M. Urrestarazu (2005)** Application of indole-3-butyric acid by fertigation on pepper plants in soilless culture grown in a greenhouse. *Acta Horticulturae* 697:475-479, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.697.60>
- Luna-García L. R., V. Robledo-Torres, A. González-Cortes, R. Mendoza-Villarreal and J. R. Paredes-Jacome (2023)** Effect of pepper rootstocks as a sustainable alternative to improve yield and fruit quality. *Horticulturae* 9:795, <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070795>
- Martin F. N., Z. G. Abad, Y. Balci and K. Ivors (2012)** Identification and detection of *Phytophthora*: reviewing our progress, identifying our needs. *Plant Disease* 96:1080-1103, <https://doi.org/10.1094/pdis-12-11-1036-FE>
- Martínez-Rodríguez M. M., M. T. Estañ, E. Moyano, J. O. García-Abellán, F. B. Flores, J. F. Campos, ... and M. C. Bolarín (2008)** The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environmental and Experimental Botany* 63:392-401, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.007>
- Medina-Torres, N., J. C. Cuevas-Bernardino, T. Ayora-Talavera, J. A. Patrón-Vázquez, I. Rodríguez-Buenfil and N. Pacheco (2021)** Changes in the physicochemical, rheological, biological, and sensorial properties of habanero chili pastes affected by ripening stage, natural preservative and thermal processing. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 20:195-212, <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim1768>
- Pérez G. M. y R. Castro B. (2008)** El Chile Manzano. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México. 128 p.
- Pérez-Grajales M., M. T. Martínez-Damián, O. Cruz-Álvarez, S. M. Potrero-Andrade, A. Peña-Lomelí, V. A. González-Hernández and A. Villegas-Monter (2018)** Content of capsaicinoids and physicochemical characteristics of manzano hot pepper grown in greenhouse. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47:119-127, <https://doi.org/10.15835/nbha47111241>
- Pérez-Grajales M., T. Q. Pérez-Reyes, O. Cruz-Álvarez, R. Castro-Brindis y M. T. Martínez-Damián (2021)** Compatibilidad del portainjerto CM-334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fitoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria* 117:332-346, <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>
- Pérez-Jiménez M., M. Pazos-Navarro, J. López-Marín, A. Gálvez, P. Varó and F. M. del Amor (2015)** Foliar application of plant growth regulators changes the nutrient composition of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae* 194:188-193, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.002>
- Rasool A., S. Mansoor, K. M. Bhat, G. I. Hassan, T. R. Baba, M. N. Alyemeni, ... and A. A. Alsahl (2020)** Mechanisms underlying graft union formation and rootstock scion interaction in horticultural plants. *Frontiers in Plant Science* 11:590847, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.590847>
- Ropokis A., G. Ntatsi, C. Kittas, N. Katsoulas and D. Savvas (2019)** Effects of temperature and grafting on yield, nutrient uptake, and water use efficiency of a hydroponic sweet pepper crop. *Agronomy* 9:110, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02255>
- Rouphael Y., M. C. Kyriacou and G. Colla (2018)** Vegetables grafting: a toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science* 8:2255, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02255>
- Saini S. and Deepanshu (2023)** Investigating the effect of plant growth regulators on growth, yield and quality of chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Environment and Climate Change* 13:2490-2495, <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i92543>
- Salasa M. C., M. M. Fernández and M. Urrestaraz (2009)** Sweet pepper yield and fruit quality affected by different auxin application methods. *Acta Horticulturae* 807:401-406, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.807.57>
- Saltos L. A., Á. Monteros-Altamirano, A. Reis and F. R. Garcés-Fiallos (2022)** *Phytophthora capsici*: the diseases it causes and management strategies to produce healthier vegetable crops. *Horticultura Brasileira* 40:5-17, <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20220101>
- Sanam R. K. and S. E. Topno (2022)** Effect of different plant growth regulators on growth and yield of chilli (*Capsicum annuum*). *The Pharma Innovation Journal* 11:328-330.
- Sánchez C. E., A. Torres G., M. A. Flores C., P. Preciado R. y C. Márquez Q. (2015)** Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova Scientia* 7:227-244.
- Sánchez-Torres P., M. D. Raigón, N. Gammoudi and C. Gisbert (2016)** Effects of grafting combinations on the nutritional composition of pepper fruit. *Fruits* 71:249-256, <https://doi.org/10.1051/fruits/2016014>
- Soto P. A., G. Rodríguez A., Y. L. Fernández P., M. E. Pedraza S., L. López P., M. Díaz C. y S. P. Fernández P. (2017)** Protocolos de aislamiento y diagnóstico de *Phytophthora* spp. enfoque aplicado a la investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1867-1880, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.708>
- Vallejo-Gutiérrez A., J. Mejía-Carranza, R. García-Velasco y M. Ramírez-Gerardo (2019)** Respuesta de genotipos de *Capsicum pubescens* al daño ocasionado por el complejo fúngico de la marchitez. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37:50-70, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1809-3>
- Vega-Alfaro A., P. C. Bethke and J. Nienhuis (2021)** Effects of interspecific grafting between *Capsicum* species on scion fruit quality characteristics. *HortScience* 56:1347-1353, <https://doi.org/10.21273/hortsci15948-21>
- Villada C. D. C., D. S. Duran O., and D. E. Ochoa F. (2023)** Influencia de tratamientos químicos sobre las propiedades físicas de la vaina de arveja. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 21:86-99, <https://doi.org/10.24054/limentech.v21i2.2642>
- Wang D., C. Ding, Z. Feng, S. Ji and D. Cui (2021)** Recent advances in portable devices for fruit firmness assessment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 63:1143-1154, <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1960477>
- Zheng Y., Q. Ma, L. Mao, Z. Wu, Z. Liu, X. Zou and B. Yang (2023)** Comparative transcriptome analysis identified genes associated with fruit size in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Horticulturae* 9:1009, <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091009>