



BIOESTIMULACIÓN DEL CHAYOTE [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] EN RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE FOSFITO

BIOSTIMULATION OF CHAYOTE [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] IN RESPONSE TO THE APPLICATION OF PHOSPHITE

Alejandra Pacheco-Narcizo¹, Libia Iris Trejo-Téllez², Juan Valente Hidalgo-Contreras¹, Rosalía Núñez-Pastrana³ y Fernando Carlos Gómez-Merino^{1*}

¹Colegio de Postgraduados (CP), Campus Córdoba, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. ²CP, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ³Universidad Veracruzana, Campus Peñuela, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia (fernandg@colpos.mx)

RESUMEN

El fosfito (Phi; $H_2PO_3^-$) es considerado como un nuevo bioestimulante en horticultura, que puede mejorar rendimiento y calidad de los cultivos, además de estimular tolerancia a diferentes tipos de estrés. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación a la raíz y al follaje de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 μM Phi en altura de planta, largo de hoja, ancho de hoja, diámetro del tallo, longitud de raíz, volumen de raíz, concentración de proteínas, clorofilas, glicina betaína y prolina en chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] var. *virens levis*. Los tratamientos fueron aplicados una vez por semana durante cuatro semanas. Los experimentos se realizaron bajo condiciones de invernadero en macetas que contenían una mezcla de turba y suelo agrícola (1:1; v: v) como sustrato. Los tratamientos no causaron daño en las hojas, pero la dosis más alta (25 μM Phi) afectó negativamente algunos indicadores de crecimiento. Al aplicar 20 μM Phi, el volumen de raíz fue mayor, mientras que con 5 μM Phi se observó mayor producción de biomasa seca de tallo en comparación con el testigo. El intervalo 15-25 μM Phi aumentó la concentración de prolina. En general, la aplicación de dosis iguales o menores de 15 μM Phi mejoraron algunos atributos del crecimiento y del metabolismo, mientras que dosis mayores de 15 μM Phi tuvieron algunos efectos negativos en estos atributos. Se concluye que el Phi puede tener un papel crucial como bioestimulante inorgánico en el cultivo de chayote al aplicarse apropiadamente.

Palabras clave: Ácido fosforoso, Cucurbitaceae, bioestimulantes inorgánicos, fitotoxicidad, H_3PO_3 .

SUMMARY

Phosphite (Phi; $H_2PO_3^-$) is considered a new biostimulant in horticulture, which can improve crop yield and quality, in addition to stimulating tolerance to environmental stress. In this study, the effect of the application to the roots and leaves of 0, 5, 10, 15, 20 and 25 μM Phi on plant height, leaf length, leaf width, stem diameter, root length, root volume, as well as on the concentrations of proteins, chlorophylls glycine betaine and proline was evaluated in chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] var. *virens levis*. Treatments were applied weekly for four weeks. The experiments were carried out under greenhouse conditions in pots containing a mixture of peat and agricultural soil (1:1; v:v) as substrate. The treatments did not cause leaf damage, but the highest dose (25 μM Phi) negatively affected some growth traits. When applying 20 μM Phi, the root volume was higher, while with 5 μM Phi a higher stem dry biomass production was observed compared to the control. The 15-25 μM Phi range increased proline concentration. In general, the application of doses equal to or lower than 15 μM Phi improved some attributes of growth and metabolism, while

doses higher than 15 μM Phi had some negative affects on those attributes. It is conclude that Phi may play a crucial role as an inorganic biostimulant in chayote cultivation, when applied properly.

Index words: Cucurbitaceae, H_3PO_3 , inorganic biostimulants, phosphorous acid, phytotoxicity.

INTRODUCCIÓN

El fosfito ($H_2PO_3^-$) es un isómero del anión fosfato ($H_2PO_4^-$). En la primera molécula, uno de los átomos de oxígeno unidos al átomo de P está ausente y sólo queda un átomo de hidrógeno, lo que le da mayor movilidad y propiedades específicas en la bioestimulación en plantas (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015; Gómez-Merino *et al.*, 2022). El fosfito es un oxianión derivado del ácido fosforoso (H_3PO_3), que frecuentemente se combina con cationes como calcio, amonio, potasio y sodio (Yáñez-Juárez *et al.*, 2018). Como bioestimulante, el fosfito (Phi) puede mejorar la absorción y asimilación de nutrimentos, tolerancia al estrés abiótico y calidad de las cosechas. En específico, el Phi puede incrementar el contenido de clorofila y de P (Estrada-Ortiz *et al.*, 2016), inducir tolerancia al estrés por UV-B y la acumulación de quitinasas y glucanasas (Havlin y Schlegel, 2021; Oyarburo *et al.*, 2015); estos mecanismos a su vez inducen la acumulación de peróxido de hidrógeno, lo que previene el estrés oxidativo y potencia la actividad de las enzimas guaicol peroxidasa (GPX) y superóxido dismutasa (SOD), y la síntesis de flavonoides (Oyarburo *et al.*, 2015); sin embargo, las altas concentraciones de fosfito pueden provocar fitotoxicidad en algunos cultivos, incluyendo daño a los tejidos fotosintéticos y disminución del rendimiento (Lovatt y Mikkelsen, 2006). En diversas especies vegetales, la aplicación de dosis altas de Phi puede causar defoliación, necrosis foliar y clorosis (Bertsch *et al.*, 2009; Cerqueira *et al.*, 2017; Hardy, 2000); no obstante, el nivel de daños causados por Phi es dependiente del

estatus del fosfato en la planta, de la concentración de Phi aplicada, del genotipo de planta que lo recibe y de la etapa fenológica (Groves *et al.*, 2015; Scott *et al.*, 2016). Aplicado a dosis óptimas, el Phi puede activar mecanismos de resistencia o tolerancia contra diversos tipos de estrés ambiental (Hardy *et al.*, 2001). Aunque el efecto de este bioestimulante inorgánico ha sido demostrado en diversos cultivos hortícolas (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2018), su efecto en chayote no ha sido explorado a la fecha.

El chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] es un cultivo importante en la alimentación en México (Barrera-Guzmán *et al.*, 2022), y como país, se ha convertido en el mayor productor y exportador de chayote verde liso en el mundo. En México se cultivan cerca de 3500 hectáreas de chayote, y la zona centro del estado de Veracruz representa la principal región productora en este país (Barrera-Guzmán *et al.*, 2022; SIAP, 2022). La variedad de mayor importancia comercial es *virens levis*.

Además de la importancia que tiene el chayote en la alimentación humana y en la generación de divisas a través de su venta nacional y de exportación, el sistema de producción también contribuye a la generación de empleos locales y representa una opción para el manejo ecológico de laderas (Cadena-Íñiguez *et al.*, 2010). En términos de importancia nutraceutica, el chayote otorga beneficios a la salud humana, ya que tiene distintas propiedades medicinales, entre las que se destaca la actividad diurética, antiinflamatoria e hipotensora, ayuda a la eliminación de cálculos renales y es utilizado en el tratamiento de arteriosclerosis e hipertensión, alivia la inflamación intestinal y cutánea, y favorece la cauterización de úlceras (Diré *et al.*, 2003). También se han identificado importantes propiedades anticáncer en algunos genotipos de esta especie (Aguñiga-Sánchez *et al.*, 2015; Íñiguez-Luna *et al.*, 2021; Salazar-Aguilar *et al.*, 2017), y recientemente se han tenido importantes avances en el conocimiento de su diversidad genética (Barrera-Guzmán *et al.*, 2021a; 2021b). El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto bioestimulante del Phi en indicadores de crecimiento y concentración de clorofilas, proteínas, glicina betaína y prolina, de plantas de chayote variedad *virens levis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en campos experimentales del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (18° 51' 20" N, 96° 51' 37" O, a 650 msnm) y de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (18° 51' 36" N, 96° 53' 56" O, a 720 msnm) de la Universidad Veracruzana, en Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

Material biológico

Las plantas de chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] var. *virens levis* fueron obtenidas a partir de frutos con semilla de un mismo huerto establecido en Cuautlapan, municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz, México (18° 87' 00" N y 97° 02' 50" O), a 973 msnm. Las plantas de las que se obtuvieron frutos fueron de la misma edad (ocho meses), en etapa productiva y mostraban vigor y sanidad uniforme.

Los frutos con semilla fueron lavados con una solución de hipoclorito de sodio 0.6 % y enjuagados con agua destilada previo a su siembra, de acuerdo con lo descrito por Andrade-Luna *et al.* (2017). Para la siembra, las semillas fueron retiradas de los frutos, desinfectadas y sembradas en macetas plásticas de 20.2 cm de diámetro superior por 16 cm de altura. Las macetas contenían como sustrato una mezcla de turba Pro-Mix® (Premier Tech Horticulture; Montgomery, Alabama, EUA) y suelo agrícola (Cambisol, pH 6.5), en una proporción 1:1 (v: v). La mezcla de sustrato fue esterilizada en autoclave a 121 °C, 1.2 kg cm⁻² de presión de vapor por 15 min, y aireada durante 2 d. Se usaron 60 macetas, cada una con una semilla de chayote.

Establecimiento de experimento

En cada una de las macetas se estableció una planta de chayote bajo condiciones de invernadero. Las 60 macetas fueron distribuidas completamente al azar en el invernadero. Las plantas crecieron por 30 d, contados a partir de su siembra, de acuerdo con lo descrito por Olguín *et al.* (2013).

Tratamientos y diseño experimental

Se realizaron dos ensayos para el análisis de las variables evaluadas, el primero en los meses de enero-febrero y el segundo en marzo-abril de 2021. Se tuvieron seis tratamientos y 10 repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron 0, 5, 10, 15, 20 y 25 µM Phi. El fosfito se obtuvo a partir de ácido fosforoso (Fermont, Cat. 01341; Monterrey, Nuevo León, México). Las soluciones de Phi (pH 5.7) fueron aplicadas a la raíz y al follaje de las plantas. En el testigo (0 µM Phi) sólo se aplicó agua destilada estéril. En total se realizaron cuatro aplicaciones de Phi a la raíz (15 mL cada vez) y al follaje (a punto de rocío). Las mediciones de los volúmenes aplicados se hicieron con probetas graduadas de plástico (Brand; Wertheim, Alemania), con capacidad de 25 mL. Las aspersiones al follaje se hicieron con un aspersor manual de jardinería (Solo; Newport News, Virginia, EUA) a una presión aproximada de 310 kPa (45 psi). Las aplicaciones se hicieron al momento de la siembra y a los 8, 15 y 23 días después de la siembra (dds), con la

finalidad de observar efectos en las primeras etapas de desarrollo de las plantas. Los intervalos de las aspersiones fueron definidos con base en la velocidad de crecimiento de las plantas. La cosecha de las plantas se realizó a los 30 dds, una semana después de la última aplicación de Phi.

Identificación de efectos fitotóxicos de Phi en plantas

La identificación de efectos fitotóxicos del Phi en plantas de chayote se hizo de manera visual a los 30 días después de la aplicación de Phi, mediante la siguiente escala (modificada de Pilbeam *et al.*, 2000): 0 = sin daños, 1 = daños limitados a las hojas jóvenes, 2 = daños en hojas jóvenes y adultas con < 50 % de la planta afectada y 3 = daños en hojas jóvenes y adultas con > 50 % de la planta afectada. Como referencia se tomó el testigo (sin aplicación de Phi). Para esta evaluación se consideraron n = 10 plantas en cada tratamiento.

Variables de crecimiento

Al momento de la cosecha (30 ddt) se evaluaron las variables altura de planta, ancho de hoja, largo de hoja, diámetro del tallo, longitud de raíz, volumen de raíz, peso de la biomasa fresca y seca de tallos, hojas, y raíces. La altura de planta (cm) se midió en cada individuo desde la base del tallo hasta la hoja más alta con el apoyo de una cinta métrica. El ancho de hoja (cm) se midió en cada hoja de cada planta, considerando solamente la parte más ancha, con el apoyo de una cinta métrica; de manera similar, el largo de hoja (cm) se midió en cada hoja de cada planta, desde la base hasta el ápice, con el apoyo de una cinta métrica. El diámetro de tallo (mm) se mensuró en el primer tercio de este órgano con auxilio de un vernier digital. La longitud de raíz (cm) se cuantificó en cada planta, lavando perfectamente este órgano, procurando el menor daño y la menor pérdida de tejido posibles, se midió desde el cuello hasta el final de la raíz con apoyo de cinta métrica. El volumen de raíz (cm³) se midió por desplazamiento de agua con una probeta graduada de 250 mL de capacidad. Para medir la biomasa producida por las plantas, éstas fueron disectadas en tallos, hojas y raíces. Para cuantificar la biomasa fresca, una vez que los órganos fueron fraccionados y separados, inmediatamente se pesaron en una balanza digital. Para cada uno de los órganos, se tomó la totalidad de la biomasa que produjeron, independientemente del estado de desarrollo que hayan alcanzado al momento del muestreo. Respecto a la biomasa seca, cada uno de los órganos de la planta fue sometido a secado en una estufa con circulación de aire forzado (Riossa, modelo HCF-125; Guadalajara, México) a una temperatura de 70 °C hasta alcanzar un peso constante; posteriormente, se pesó cada uno de los órganos en una balanza digital. Todas las mediciones y los

muestreos se hicieron entre 07:00 y 8:00 h.

Concentración de biomoléculas

En las hojas se cuantificaron las concentraciones de clorofila total (Harborne, 1998); para ello, se pesaron 60 mg de tejido foliar macerado y se mezclaron una primera vez con 1500 µL de etanol 80 % (v/v), una segunda vez con etanol 80 % y una tercera con etanol 50 %. Las muestras obtenidas se incubaron en baño María a 80 °C durante 20 min; posteriormente, se centrifugaron a 14000 rpm durante 5 min para obtener la separación de fases. De la fase líquida colectada de la triple extracción etanólica se tomaron 488 µL, se mezclaron con 1275 µL de etanol 98 % (v/v) y se leyeron en un espectrofotómetro (6715 UV/Vis, Jenway; Staffordshire, Reino Unido) a 645 y 665 nm. Para esta medición se realizaron cuatro réplicas biológicas independientes por tratamiento con dos réplicas técnicas.

Las concentraciones de proteína se determinaron por el método de Bradford (1976); para ello, primeramente se preparó el reactivo Bradford con 100 mg de azul brillante de Coomassie G-250, que se disolvieron en 50 mL de etanol 95 %, a esta dilución se le añadieron 100 mL de ácido fosfórico 85 % y todo se aforó a un volumen final de 1 L; en seguida, se pesó 1 g de material vegetal fresco que se colocó en un mortero de porcelana frío, se agregaron 100 mL de acetona fría y se maceró. La mezcla resultante se filtró al vacío, se añadieron 50 mL de acetona y se volvió a macerar, proceso que se repitió cinco veces. El material molido resultante se colocó en una caja Petri sellada y conservada en congelación para su posterior análisis; de este material vegetal molido, se tomaron 100 mg, se añadieron 5 mL de la solución amortiguadora Tris-HCl (0.1 M, pH 7.1) fría, se homogeneizó con vórtex, se decantó en un tubo de ensayo de 12 × 100 mm, se centrifugó a 16,000 rpm por 20 min a 4 °C y se dejó reposar a temperatura ambiente. Para las lecturas, se tomaron 100 µL de muestra, se añadieron 5 mL del reactivo Bradford, se mezcló por inversión y se dejó reaccionar durante 12 min a temperatura ambiente. La lectura se hizo en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 10S, Madison, Wisconsin, EUA) a 595 nm, tomando albúmina para la curva de calibración. Todos los reactivos fueron de grado analítico provistos por Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, EUA).

Para la cuantificación de glicina betaína se utilizó el protocolo descrito por Grieve y Grattan (1983); para ello, se tomaron 50 mg de tejido vegetal macerado a los que se agregaron 2.5 mL de agua desionizada, la mezcla se filtró con papel Whatman No. 2 y de allí se tomó una alícuota de 1 mL diluido con H₂SO₄ 2 N en una proporción 1:1 (v:v), se agregaron 0.2 mL de KI-I₂, se agitó en vórtex y se dejó en refrigeración a -4 °C por 16 h; posteriormente,

las muestras se centrifugaron a 3,100 RCF por 15 min a 0 °C y se colocaron en hielo por 1 h; finalmente, se separó el sobrenadante, se agregaron 9 mL de 1,2-dicloroetano, la mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente por 2 h, se tomó 1 mL de la muestra y se leyó a 365 nm en el espectrofotómetro antes referido. Los valores obtenidos se interpolaron en la curva de calibración hecha con estándar de glicina betaína. Los reactivos fueron grado analítico, provistos por Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, EUA).

Las concentraciones de prolina se determinaron de acuerdo con el protocolo descrito por Bates *et al.* (1973). Se tomaron 50 mg de tejido foliar fresco y se maceraron en un mortero con pistilo agregando posteriormente 5 mL de ácido sulfosalicílico 3 %, la mezcla fue filtrada con papel Whatman No. 2, y del líquido obtenido se tomó una alícuota de 1 mL, a la que se le agregó 1 mL de ácido acético glacial y 1 mL de ninhidrina, todo depositado en tubos de centrifuga de 15 mL, esta mezcla se agitó en vórtex por 15 s y se dejó incubar a baño termorregulado por 1 h a 100 °C; al término de este periodo, los tubos fueron retirados y puestos a reposar sobre hielo, se añadieron 2 mL de tolueno y se agitó por 30 s, la fase superior (tolueno + complejo coloreado) se retiró con pipeta Pasteur. En el cromóforo resultante se leyó la absorbancia a 520 nm en el espectrofotómetro ya referido, y los valores se interpolaron en la curva de calibración hecha con estándar de L-prolina. Los reactivos fueron grado analítico, provistos por Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, EUA).

Análisis estadístico

Se comprobó que los datos cumplieran los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, a través de las pruebas Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente; posteriormente, los datos fueron sometidos a análisis de varianza de una vía y las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) usando el software Minitab (Akers, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos fitotóxicos de Phi en chayote

En condiciones de deficiencia de fosfato (Pi), la aplicación de niveles elevados de fosfito (Phi) puede generar fitotoxicidad en plantas, aunque el nivel de fitotoxicidad observado también depende del genotipo de planta en estudio (Massoud *et al.*, 2012). En diversos cultivos hortícolas y ornamentales, la aplicación foliar de Phi causa efectos fitotóxicos, especialmente en hojas (Hardy *et al.*, 2001), aunque en pepino (*Cucumis sativus*), la aplicación de 5.0 g L⁻¹ Phi no generó efecto negativo en el desarrollo de las plantas (Yáñez *et al.*, 2012). En tomate

de árbol (*Solanum betaceum*), la aplicación de 0.75 mL L⁻¹ de Agrifos® (que contiene 400 g L⁻¹ de ácido fosforoso) ocasionó daños en tejido foliar (Castaño *et al.*, 2015). En el presente estudio, las plántulas de chayote no presentaron síntomas de fitotoxicidad en follaje en los intervalos de Phi evaluados, aunque en la dosis más elevada se redujo la altura de la planta (Figura 1).

Efecto de Phi en el crecimiento de chayote

El volumen de raíz en el testigo fue de 4.77 cm³, en tanto que al aplicar 20 µM Phi éste aumentó a 15.20 cm³, equivalente a un incremento del 218.65 %, con diferencia estadística ($P \leq 0.05$) (Cuadro 1). Este aumento en el volumen de raíz pudo deberse a que el Phi interviene en la síntesis y el metabolismo de fitohormonas; en específico, la citocinina *cis* zeatina (cZ) aumenta en tejidos de raíces de plantas expuestas a Phi, lo que estimula la emergencia de raíces laterales y la biomasa total de raíces (Swarup *et al.*, 2020). Las citocininas juegan un papel vital durante la organogénesis de raíces laterales, al direccionar el flujo de auxinas en los nuevos primordios (Bishopp y Bennett, 2014; Bhosale *et al.*, 2018). Este resultado es de crucial importancia para el cultivo del chayote, dado que algunas plantaciones en México se encuentran establecidas en suelos ácidos que presentan deficiencias en disponibilidad nutrimental (Cadena-Íñiguez *et al.*, 2007); así, a través de la aplicación de Phi, la planta puede desarrollar mayor volumen de raíz que le permite contar con mayor superficie de exposición en la solución del suelo, así como capacidad de explorar volúmenes mayores de suelo y con ello mayor posibilidad de acceso a nutrimentos.

El Phi no tuvo efectos significativos en longitud de raíz, diámetro de tallo, ancho de hoja, ni largo de hoja, aunque se observó una tendencia no significativa a aumentar las medias de algunas de estas variables de crecimiento al aplicar dosis bajas de Phi. La altura de planta fue menor al aplicar 15 µM Phi en comparación con el testigo. Respecto al número de hojas, la única diferencia estadística se encontró entre el tratamiento de 20 y el de 15 µM Phi, con el primero mostrando la media más alta (Cuadro 1). En la especie silvestre australiana *Adenanthos barbiger*, las aplicaciones de 0.5 a 2.0 % Phi estimularon el crecimiento y desarrollo de la planta (Pilbeam *et al.*, 2011). En trigo (*Triticum aestivum*), canola (*Brassica napus* subsp. *napus*), remolacha azucarera (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *altissima*) y pasto ballico (*Lolium multiflorum*), la aplicación de Phi estimula el crecimiento y desarrollo de raíces (Rossall *et al.*, 2016). En plátano dominico Hartón (*Musa balbisiana* AAB), la aplicación de fosfito de potasio aumentó la altura de planta (36.6 cm) con respecto al testigo (29.0 cm) (Mogollón y Castaño, 2011); sin embargo, la aplicación de altas concentraciones de fosfito puede

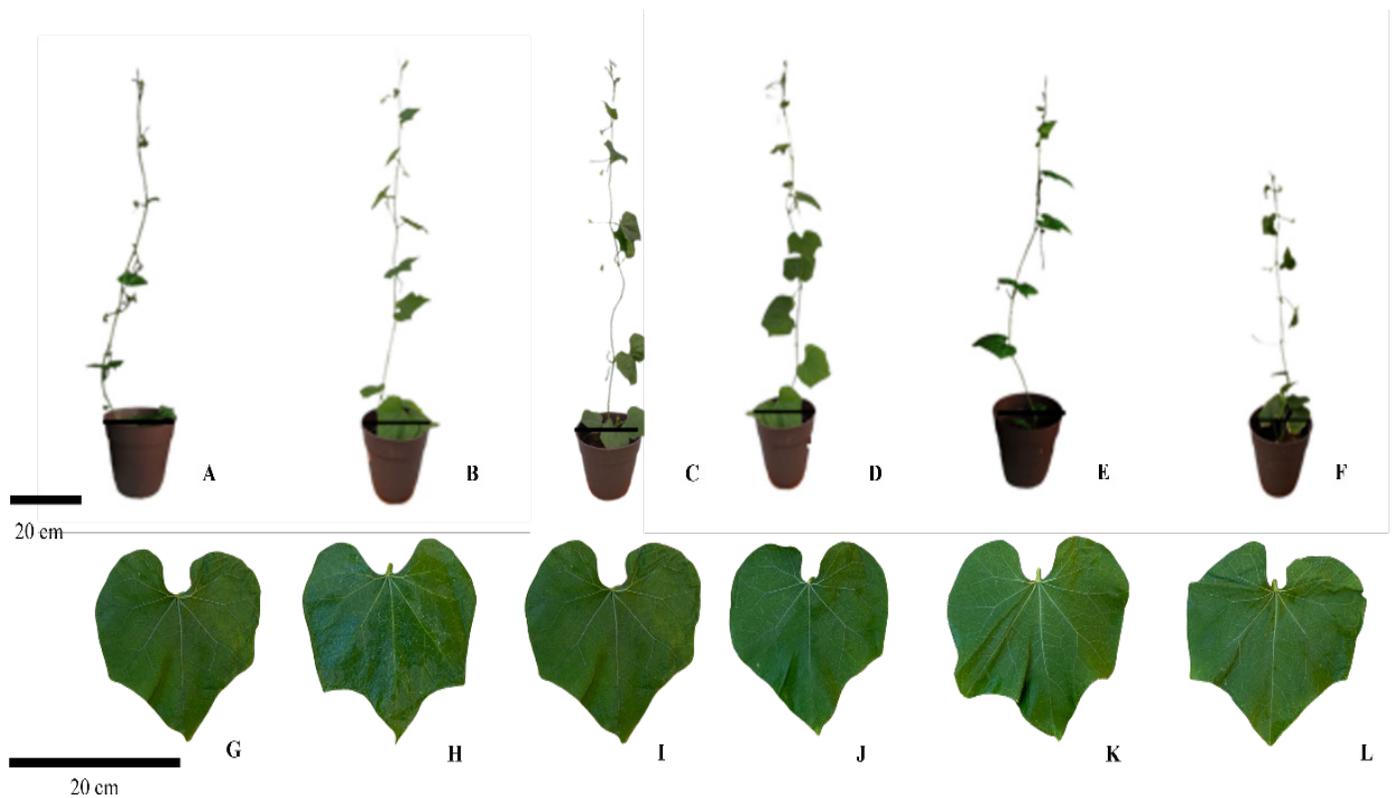


Figura 1. Desarrollo de plantas de chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] var. *virens levis* y hojas completamente expandidas expuestas a diferentes concentraciones de fosfito por 30 días. A) Planta testigo sin Phi (0 μM Phi), B) planta expuesta a 5 μM Phi, C) planta expuesta a 10 μM Phi, D) planta expuesta a 15 μM Phi, E) planta expuesta a 20 μM Phi, F) planta expuesta a 25 μM Phi, G) hoja testigo sin Phi (0 μM Phi), H) hoja expandida expuesta a 5 μM Phi, I) hoja expandida expuesta a 10 μM Phi, J) hoja expandida expuesta a 15 μM Phi, K) hoja expandida expuesta a 20 μM Phi, L) hoja expandida expuesta a 25 μM Phi. Las barras indican una escala de 20 cm para cada caso.

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de fosfito (Phi) en variables de crecimiento de plantas de chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] variedad *virens levis*.

Phi (μM)	Volumen de raíz (cm ³)	Longitud de raíz (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Ancho de hoja (cm)	Largo de hoja (cm)
0	4.77±0.494 ^{cd}	42.8±2.46 ^a	5.1±0.332 ^a	42.5±4.54 ^{ab}	14.4±1.26 ^{ab}	8.9±0.574 ^{abc}	8.0±0.516 ^{abc}
5	8.68±0.676 ^{bc}	43.9±3.83 ^a	5.2±0.625 ^a	38.5±4.13 ^{abc}	12.8±1.07 ^{abc}	9.0±0.73 ^{abc}	8.5±0.510 ^{abc}
10	7.48±0.624 ^{bcd}	36.3±3.12 ^{ab}	6.3±0.246 ^a	38.4±3.48 ^{abc}	11.7±1.04 ^{abc}	9.7±0.68 ^{ab}	8.0±0.433 ^{abc}
15	3.48±0.957 ^d	35.5±2.16 ^{abc}	6.1±0.423 ^a	24.0±3.14 ^c	10.9±1.10 ^{bc}	8.5±0.739 ^{abc}	7.8±0.620 ^{abc}
20	15.20±1.19 ^a	33.7±2.99 ^{abc}	5.9±0.327 ^a	35.4±3.90 ^{abc}	15.6±1.17 ^a	10.4±0.704 ^a	9.6±0.705 ^a
25	10.24±1.65 ^b	35.2±4.05 ^{abc}	6.6±0.474 ^a	33.6±3.44 ^{bc}	12.3±0.981 ^{abc}	10.6±0.430 ^a	9.1±0.375 ^{ab}

Medias (± Error estándar) con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

inducir fitotoxicidad (Lovatt y Mikkelsen, 2006), causar estrés oxidativo e inhibir el crecimiento (Cerqueira *et al.*, 2017; Estrada-Ortiz *et al.*, 2011). El efecto estimulante o fitotóxico del Phi depende no solo del abastecimiento de Pi en la planta, de la concentración de Phi aplicada y del genotipo de la especie vegetal, sino también de las condiciones experimentales o de ambiente donde se lleva a cabo el estudio (Scott *et al.*, 2016).

El incremento en el crecimiento observado en algunos estudios en plantas expuestas a Phi puede atribuirse a que este oxianión estimula la síntesis de clorofilas, aminoácidos y proteínas, y mejora la actividad antioxidante dentro de la planta (Oyarburo *et al.*, 2015; Rossall *et al.*, 2016); además, el Phi aumenta el contenido de P y mejora la resistencia de las paredes celulares, que ofrecen mayor soporte a la biomasa producida (Bertsch *et al.*, 2009; Lobato *et al.*, 2011; Olivieri *et al.*, 2012). El Phi también mejora la asimilación de carbono y el uso eficiente del agua, lo que aumenta la cantidad de carbono asimilado por unidad de agua perdida durante la fotosíntesis (Formisano *et al.*, 2021). Se ha comprobado que el Phi también estimula la actividad de la enzima nitrato reductasa, clave en la reducción del nitrato (Swarup *et al.*, 2020), proceso fundamental para la asimilación del N. El Phi también puede estimular la síntesis de metabolitos secundarios y, a su vez, estos metabolitos pueden promover el crecimiento y proteger a la planta contra diversos embates ambientales (Lovatt y Mikkelsen, 2006; Trejo-Téllez *et al.*, 2019).

En relación con el peso de la biomasa fresca del tallo, la aplicación de 10 μM Phi superó en 39.7 % al testigo. Los tratamientos de 5, 20 y 25 μM Phi mostraron medias estadísticamente similares al testigo, y la media más baja (*i.e.* 4.1 g) se observó en plantas expuestas a 15 μM Phi, la cual fue estadísticamente diferente al resto

de los tratamientos (Cuadro 2). En general, el peso de la biomasa fresca de hoja fue estadísticamente similar entre tratamientos, con la única diferencia significativa observada entre las plantas tratadas con 5 μM Phi (*i.e.* 8.4 g) y las tratadas con 20 μM Phi (*i.e.* 4.1 g). En cuanto a la raíz, las plantas testigo (*i.e.* 4.9 g) mostraron medias estadísticamente similares a las plantas tratadas con 5, 10, 20 y 25 μM Phi con la media más baja (*i.e.* 3.0 g), registrada en el tratamiento con 15 μM Phi, la cual fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos. De estos resultados destaca el hecho de que, al aplicar 10 μM Phi, el peso de biomasa fresca del tallo aumentó en casi 40 % respecto al testigo. En calabacita (*Cucurbita pepo*), la aplicación de Phi también aumenta tamaño y peso de biomasa fresca de plantas (Maldonado-Cruz *et al.*, 2008).

Con relación al peso de la biomasa seca de tallo, las plantas tratadas con 10 μM Phi mostraron medias más altas que el testigo, mientras que los demás tratamientos mostraron medias estadísticamente similares al testigo. Los tratamientos evaluados no afectaron el peso de la biomasa seca de la hoja. Respecto al peso de la biomasa seca de raíz, plantas expuestas a 20 (0.8 g) y 25 μM Phi (0.7 g) mostraron medias más altas que el testigo (0.3 g); de manera similar, la aplicación de Phi aumenta el peso de biomasa seca de raíces en tomate (*Solanum lycopersicum*) (Casasola-Elizondo *et al.*, 2017). Las funciones bioestimulantes del Phi en el crecimiento y desarrollo vegetal constituyen un tema emergente y de gran impacto agrícola (Gómez-Merino *et al.*, 2022; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2018), el cual puede atribuirse a la capacidad de este oxianión para promover reacciones bioquímicas en cascada relacionadas con el metabolismo del carbono y el nitrógeno, así como la regulación de la síntesis y actividad de fitohormonas (Cerqueira *et al.*, 2017; Rossall *et al.*, 2016; Swarup *et al.*, 2020).

Cuadro 2. Peso de la biomasa fresca y seca de tallo, hoja y raíz de plantas de chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] variedad *virens levis* tratadas con diferentes concentraciones de fosfito (Phi).

Phi (μM)	Biomasa fresca (g)			Biomasa seca (g)		
	Tallo	Hoja	Raíz	Tallo	Hoja	Raíz
0	7.3 \pm 0.75 ^b	6.6 \pm 1.09 ^{ab}	4.0 \pm 0.04 ^b	0.7 \pm 0.17 ^{bc}	1.4 \pm 0.52 ^a	0.3 \pm 0.03 ^d
5	9.6 \pm 1.59 ^{ab}	8.4 \pm 2.34 ^a	7.9 \pm 0.52 ^{abc}	1.8 \pm 0.54 ^a	1.1 \pm 0.43 ^a	0.6 \pm 0.12 ^{abcd}
10	10.2 \pm 0.66 ^a	8.2 \pm 1.03 ^{ab}	7.9 \pm 1.61 ^{abc}	1.0 \pm 0.21 ^{abc}	1.1 \pm 0.46 ^a	0.5 \pm 0.06 ^{abcde}
15	4.1 \pm 0.73 ^e	5.1 \pm 1.56 ^{ab}	3.0 \pm 1.36 ^d	0.4 \pm 0.11 ^{bc}	0.6 \pm 0.17 ^a	0.4 \pm 0.12 ^{bode}
20	7.3 \pm 0.67 ^{abcd}	4.1 \pm 0.56 ^b	9.9 \pm 0.48 ^a	0.9 \pm 0.09 ^{bc}	0.9 \pm 0.06 ^a	0.8 \pm 0.11 ^a
25	9.2 \pm 0.64 ^{abcd}	6.7 \pm 1.29 ^{ab}	7.7 \pm 0.91 ^{abc}	1.3 \pm 0.15 ^{ab}	1.1 \pm 0.17 ^a	0.7 \pm 0.09 ^{ab}

Medias (\pm Error estándar) con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Efecto de Phi en el metabolismo de chayote

El Phi puede activar mecanismos de tolerancia a diferentes factores de estrés abiótico. Las plantas tienen sistemas de defensa constitutivos o inducidos, que se manifiestan en respuesta a tensiones abióticas, y comprenden cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares; estos cambios dependen del genotipo de la planta y generalmente comprenden menor potencial hídrico en las hojas y reducido contenido relativo de agua de la planta, además del ajuste osmótico, con incrementos en la síntesis de azúcares y osmoprotectores (De Campos *et al.*, 2011). Dentro de los osmoprotectores de mayor importancia en plantas se pueden citar a la glicina betaína y a la prolina (Ashraf y Foolad, 2007). En este estudio, la concentración de glicina betaína disminuyó en aproximadamente 40 % al aplicar 25 μM Phi, en comparación con el testigo, mientras que los tratamientos restantes mostraron medias similares al testigo (Figura 2A). La glicina betaína contribuye al balance osmótico en plantas sometidas a ciertos tipos de estrés, lo que reduce el potencial hídrico celular y la conductividad hidráulica de las raíces y sus membranas para evitar la entrada de agentes estresantes (Jiménez-Arias *et al.*, 2021). En girasol (*Helianthus annuus*) sometido a estrés por sequía, la aplicación de fosfito de potasio aumentó el potencial hídrico y la actividad de la enzima antioxidante peroxidasa (POX), en tanto que disminuyó la concentración de malonaldehído (MDA) y no hubo efecto en las concentraciones de prolina y glicina betaína (Almeida *et al.*, 2020).

En plantas tratadas con 15, 20 y 25 μM Phi, las concentraciones de prolina aumentaron en aproximadamente 75 % con respecto al testigo, en tanto que las aplicaciones de 5 y 10 μM Phi produjeron medias intermedias y estadísticamente similares a todos los tratamientos (Figura 2B). En *Pinus radiata*, la aplicación de 1 % Phi aumentó las concentraciones de prolina con respecto a la aplicación de 4 % Phi (Cerqueira *et al.*, 2017), lo cual puede deberse al posible estrés causado por el Phi aplicado a la concentración más alta. La acumulación de prolina es un mecanismo protector frente a diversos tipos de estrés, que permite compensar la homeostasis del organismo a través del ajuste osmótico (Hayat *et al.*, 2012), manteniendo el metabolismo y el crecimiento de las plantas frente a diversos tipos de estrés (Machinandiarena *et al.*, 2012). Los mecanismos de señalización que pueden detonar la prolina ante eventos de estrés se relacionan con un mejor flujo del agua y nutrientes (Ali *et al.*, 2008), potencial hídrico optimizado, protección de proteínas y membranas contra la desnaturalización y la degradación, mayor capacidad para depurar especies reactivas de oxígeno (Szabados y Savouré, 2010), menor peroxidación lipídica en membranas y reducida fuga de electrolitos

(Cerqueira *et al.*, 2017).

Las concentraciones de clorofilas totales tendieron a disminuir a medida que aumentó la dosis de Phi aplicada (Figura 2C). Las medias más altas se observaron en el testigo y en plantas tratadas con 5 y 10 μM Phi, en tanto que las más bajas se registraron en plantas expuestas a 15, 20 y 25 μM Phi. En fresa (*Fragaria × ananassa*) en etapa de floración, la aplicación de Phi no afectó la concentración foliar de clorofila total, pero en la etapa de fructificación, la aplicación de 30 % Phi (de total del P aplicado) resultó en la mayor concentración de clorofila total (2.68 mg g^{-1} PMF), mientras que al elevar a 40 y 50 % Phi, la concentración de esta biomolécula disminuyó (Estrada-Ortiz *et al.*, 2011). En *Arabidopsis thaliana*, la aplicación de 5-10 mM Phi produjo hojas color verde claro y redujo la concentración de clorofila y antocianinas (Ticconi *et al.*, 2001).

Los aminoácidos y otros compuestos nitrogenados solubles juegan un papel importante en el metabolismo vegetal, ya que son los productos primarios de la asimilación inorgánica del nitrógeno y precursores de proteínas y ácidos nucleicos (Hsu y Kao, 2003). En este estudio, la concentración de proteínas mostró una tendencia a aumentar en plantas tratadas con 5, 10 y 15 μM Phi con respecto al testigo; sin embargo, sólo se observaron diferencias significativas entre las plantas expuestas a 5 y 10 μM Phi (*i.e.* $\sim 5 \text{ mg g}^{-1}$ PBF) respecto a las tratadas con 25 μM Phi (*i.e.* 1 mg g^{-1} PBF) (Figura 2D). En este último tratamiento (*i.e.* 25 μM Phi), las plantas mostraron una reducción de aproximadamente 80 % en la concentración de proteínas con respecto a las plantas tratadas con 10 μM Phi. En fresa, el abastecimiento del 30 % Phi del fósforo total también aumentó la concentración de proteínas, aunque al aumentar este valor al 40 y 50 %, la concentración de proteínas disminuyó (Estrada-Ortiz *et al.*, 2011), lo cual puede deberse a una asociación entre el metabolismo de las proteínas y aminoácidos con la adaptación de las plantas a cambios en las condiciones ambientales y al estrés que representa el abastecimiento de Phi en más del 30 % del P total (Hildebrandt, 2018).

CONCLUSIONES

La aplicación de fosfito no causa fitotoxicidad en hojas de plantas de chayote, y de manera interesante, muestra efectos positivos en dosis bajas en algunos indicadores de crecimiento y del metabolismo vegetal; sin embargo, dosis medias y elevadas de Phi tienden a disminuir el crecimiento y aumentar la concentración de compuestos relacionados con respuestas al estrés, como la prolina. Es posible concluir que las dosis de 5 a 15 μM tienen efectos bioestimulantes en plantas de chayote.

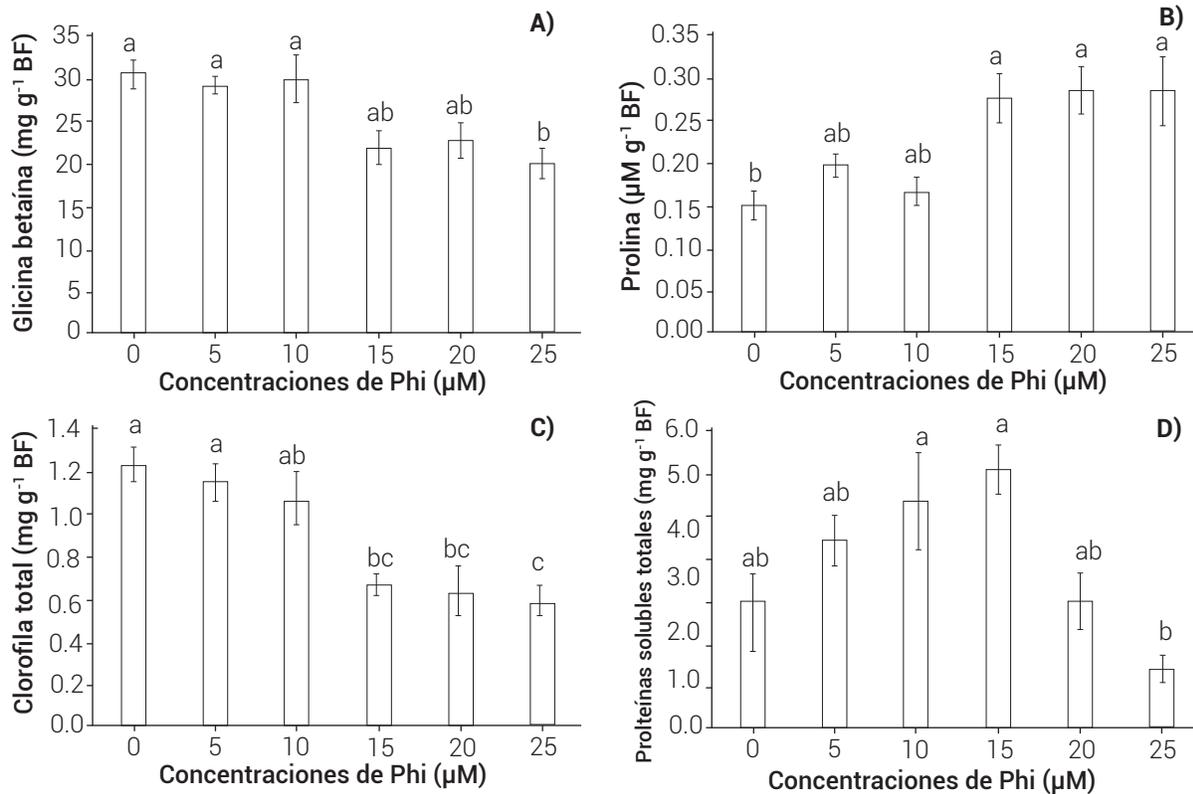


Figura 2. Concentración de metabolitos y biomoléculas en hojas de chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] var. *virens levis* después de cuatro aplicaciones de fosfito (Phi) a diferentes dosis. A) Concentración de glicina betaína, B) concentración de prolina, C) concentración de clorofilas totales, D) concentración de proteínas totales. Medias (\pm Error estándar) con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$). BF: Biomasa fresca.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de Maestría en Ciencias otorgada a Alejandra Pacheco Narcizo (No. 747381).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguñiga-Sánchez I., M. Soto-Hernández, J. Cadena-Iñiguez, L. M. Ruiz-Posadas, J. D. Cadena-Zamudio, A. K. González-Ugarte, ... and E. Santiago-Osorio (2015) Fruit extract from a *Sechium edule* hybrid induce apoptosis in leukaemic cell lines but not in normal cells. *Nutrition and Cancer* 67:250-257, <https://doi.org/10.1080/01635581.2015.989370>
- Akers M. D (2018) Exploring and Interpreting Data with Minitab 18. Compass Publishing. Portsmouth, UK. 260 p.
- Ali Q., M. Ashraf, M. Shahbaz and H. Humera (2008) Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. *Pakistan Journal of Botany* 40:211-219.
- Almeida G. M., A. A. da Silva, P. F. Batista, L. M. F. Moura, R. G. Vital and A. C. Costa (2020) Hydrogen sulfide, potassium phosphite and zinc sulfate as alleviators of drought stress in sunflower plants. *Ciência e Agrotecnologia* 44:e006320, <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044006320>
- Andrade-Luna M. I., D. Espinosa-Victoria, O. Gómez-Rodríguez, J. Cadena-Iñiguez, M. L. Arévalo-Galarza, L. I. Trejo-Téllez y J. Delgadillo-Martínez (2017) Severidad de una cepa de *Phytophthora capsici* en plantas de chayote *Sechium edule* a nivel de cámara de crecimiento. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35:40-57, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1607-3>
- Ashraf M. and M. R. Foolad (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59:206-216, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Barrera-Guzmán L. A., J. Cadena-Iñiguez, J. P. Legaria-Solano and J. Sahagún-Castellanos (2021a) Phylogenetics of the genus *Sechium* P. Brown: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research* 19:e07R01, <https://doi.org/10.5424/sjar/2021191-17036>
- Barrera-Guzmán L. A., J. P. Legaria-Solano, J. Cadena-Iñiguez and J. Sahagún-Castellanos (2021b) Phylogenetic relationships among Mexican species of the genus *Sechium* (Cucurbitaceae). *Turkish Journal of Botany* 45:302-314, <https://doi.org/10.3906/bot-2007-18>
- Barrera-Guzmán L. A., J. Cadena-Iñiguez, J. P. Legaria-Solano, J. Sahagún-Castellanos and G. Ramírez-Ojeda (2022) Potential distribution of domesticated *Sechium edule* (Cucurbitaceae) in Mexico. *Acta Biológica Colombiana* 27(3), <https://doi.org/10.15446/abc.v27n3.93485>
- Bates L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207, <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bertsch F., F. Ramírez and C. Henríquez (2009) Evaluación del fosfito como fuente fertilizante de fósforo vía radical y foliar. *Agronomía Costarricense* 33:249-265.

- Bhosale R., J. Giri, B. K. Pandey, R. F. H. Giehl, A. Hartmann, R. Traini, ... and R. Swarup (2018) A mechanistic framework for auxin dependent *Arabidopsis* root hair elongation to low external phosphate. *Nature Communications* 9:1409, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03851-3>
- Bishopp A. and M. J. Bennett (2014) Hormone crosstalk: directing the flow. *Current Biology* 24:R366-R368, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.018>
- Bradford M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254, [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Cadena-Iñiguez J., L. Arévalo-Galarza, C. H. Avendaño-Arrazate, M. Soto-Hernández, L. M. Ruiz-Posadas, E. Santiago-Osorio, ... y D. Ochoa-Martínez (2007) Production, genetics, postharvest management and pharmacological characteristics of *Sechium edule* (Jacq.) Sw. *Fresh Produce* 1:41-53.
- Cadena-Iñiguez J., C. H. Avendaño-Arrazate, J. F. Aguirre-Medina, M. L. Arévalo-Galarza, V. M. Cisneros-Solano y E. Campos-Rojas (2010) El chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw., importante recurso fitogenético mesoamericano. *Agroproductividad* 3:84-85.
- Casasola-Elizondo C. A., L. I. Trejo-Téllez, G. Alcántar-González, F. C. Gómez-Merino y S. García-Morales (2017) Cadmio y fosfito en crecimiento de plántulas de tomate. In: Ciencias de la Química y Agronomía. F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez y J. Rocha (eds.). Handbook T-I.-®ECORFAN. Texcoco de Mora, México. pp:28-37.
- Castaño M. J., J. G. Ramírez G. L. F. Patiño H. y J. G. Morales O. (2015) Alternativa para el manejo de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en *Solanum betaceum* Cav. mediante inductores de resistencia. *Revista de Protección Vegetal* 30:204-212.
- Cerqueira A., A. Alves, H. Berenguer, B. Correia, A. Gómez-Cadenas, J. J. Diez, ... and G. Pinto (2017) Phosphite shifts physiological and hormonal profile of Monterey pine and delays *Fusarium circinatum* progression. *Plant Physiology and Biochemistry* 114:88-99, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.02.020>
- De Campos M. K. F., K. de Carvalho, F. S. de Souza, C. J. Marur, L. F. P. Pereira, J. C. B. Filho and L. G. E. Vieira (2011) Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline. *Environmental and Experimental Botany* 72:242-250, <https://doi.org/10.1016/j.envenpbot.2011.03.009>
- Diré G., E. Lima, M. Gomes and M. Bernardo-Filho (2003) The effect of chayote (*Sechium edule*) extracts (decoct and macerated) on the labeling of blood elements with Technetium-99m and on the biodistribution of the radiopharmaceutical sodium pertechnetate in mice: an *in vitro* and *in vivo* analysis. *Pakistan Journal of Nutrition* 2:221-227, <https://doi.org/10.3923/pjn.2003.221.227>
- Estrada-Ortiz E., L. I. Trejo-Téllez, F. C. Gómez-Merino, R. Núñez-Escobar y M. Sandoval-Villa (2011) Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17:129-138.
- Estrada-Ortiz E., L. I. Trejo-Téllez, F. C. Gómez-Merino, H. V. Silva-Rojas, A. M. Castillo-González and E. Avitia-García (2016) Physiological responses of chard and lettuce to phosphite supply in nutrient solution. *Journal of Agriculture, Science and Technology* 18:1079-1090.
- Formisano L., B. Miras-Moreno, M. Ciriello, C. El-Nakhel, G. Corrado, L. Lucini, ... and Y. Rouphael (2021) *Trichoderma* and phosphite elicited distinctive secondary metabolite signatures in zucchini squash plants. *Agronomy* 11:1205, <https://doi.org/10.3390/agronomy11061205>
- Gómez-Merino F. C. and L. I. Trejo-Téllez (2015) Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196:82-90, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.035>
- Gómez-Merino F. C., L. F. Gómez-Trejo, R. Ruvalcaba-Ramírez and L. I. Trejo-Téllez (2022) Application of phosphite as a biostimulant in agriculture. In: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Sustainable Agriculture: Revisiting Green Chemicals. H. B. Singh and A. Vaishnav (eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp:135-153, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85581-5.00002-1>
- Grieve C. M. and S. R. Grattan (1983) Rapid assay for determination of water-soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil* 70:303-307, <https://doi.org/10.1007/BF02374789>
- Groves E., K. Howard, G. Hardy and T. Burgess (2015) Role of salicylic acid in phosphite-induced protection against Oomycetes; a *Phytophthora cinnamomi*-*Lupinus augustifolius* model system. *European Journal of Plant Pathology* 141:559-569, <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0562-y>
- Harborne J. B. (1998) Nitrogen compounds. Chlorophylls. In: *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*. J. B. Harborne (ed.). Chapman and Hall Ltd. London, UK. pp:187-234.
- Hardy G. E. S. J. (2000) Phosphite and its potential to control *P. cinnamomi* in natural plant communities and adjacent rehabilitated minesites in Western Australia. In: Proceedings of the First International Meeting on Phytophthoras in Forest and Wildland Ecosystems. *Phytophthora Diseases of Forest Trees*, IUFRO Working Party 7.02.09, August 30-September 3. Grants Pass, Oregon, USA. pp:82-86.
- Hardy G. E. S. J., S. Barrett and B. L. Shearer (2001) The future of phosphite as a fungicide to control the soilborne plant pathogen *Phytophthora cinnamomi* in natural ecosystems. *Australasian Plant Pathology* 30:133-139, <https://doi.org/10.1071/AP01012>
- Havlin J. L. and A. J. Schlegel (2021) Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide. *Soil Systems* 5:52, <https://doi.org/10.3390/soilsystems5030052>
- Hayat S., Q. Hayat, M. N. Alyemeni, A. S. Wani, J. Pichtel and A. Ahmad (2012) Role of proline under changing environments. *Plant Signaling and Behavior* 7:1456-1466, <https://doi.org/10.4161/psb.21949>
- Hildebrandt T. M. (2018) Synthesis versus degradation: directions of amino acid metabolism during *Arabidopsis* abiotic stress response. *Plant Molecular Biology* 98:121-135, <https://doi.org/10.1007/s11103-018-0767-0>
- Hsu S. Y. and C. H. Kao (2003) The protective effect of free radical scavengers and metal chelators on polyethylene glycol-treated rice leaves. *Biologia Plantarum* 46:617-619, <https://doi.org/10.1023/A:1024888217021>
- Iñiguez-Luna M. I., J. Cadena-Iñiguez, R. M. Soto-Hernández, F. J. Morales-Flores, M. Cortes-Cruz and K. N. Watanabe (2021) Natural bioactive compounds of *Sechium* spp. for therapeutic and nutraceutical supplements. *Frontiers in Plant Science* 12:772389, <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772389>
- Jiménez-Arias D., F. J. García-Machado, S. Morales-Sierra, A. L. García-García, A. J. Herrera, F. Valdés, ... and A. A. Borges (2021) A beginner's guide to osmoprotection by biostimulants. *Plants* 10:363, <https://doi.org/10.3390/plants10020363>
- Lobato M. C., M. F. Machinandiarena, C. Tambascio, G. A. A. Dosio, D. O. Caldiz, G. R. Daleo, ... and F. P. Oliveri (2011) Effect of foliar applications of phosphite on post harvest potato tubers. *European Journal of Plant Pathology* 130:155-163, <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9741-2>
- Lovatt C. J. and R. L. Mikkelsen (2006) Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do? *Better Crops* 90:11-13.
- Machinandiarena M. F., M. C. Lobato, M. L. Feldman, G. R. Daleo and A. B. Andreu (2012) Potassium phosphite primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. *Journal of Plant Physiology* 169:1417-1424, <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.05.005>
- Maldonado-Cruz E., D. L. Ochoa-Martínez y B. Tlalp-Bolaños (2008) Efecto del ácido acético salicílico y *Bacillus subtilis* en la infección causada por *Cucumber mosaic virus* en calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14:55-59.
- Massoud K., T. Barchietto, T. Le Rudulier, L. Pallandre, L. Didierlaurent, M. Garmier, ... and P. Saindrenan (2012) Dissecting phosphite-induced priming in *Arabidopsis* infected with *Hyaloperonospora arabidopsidis*. *Plant Physiology* 159:286-298, <https://doi.org/10.1104/pp.112.194647>
- Mogollón O. A. y J. Castaño Z. (2011) Efecto de inductores de resistencia en plántulas de plátano dominico-Hartón (*Musa balbisiana* AAB) contra *Mycosphaerella* spp. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 35:463-471.
- Olgún H. G., G. Valdovinos P., J. Cadena I. y M. L. Arévalo G. (2013) Etiología de la marchitez de plantas de chayote (*Sechium edule*) en el estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 31:161-169.

- Olivieri F. P., M. L. Feldman, M. F. Machinandiarena, M. C. Lobato, D. O. Caldiz, G. R. Daleo and A. B. Andreu (2012) Phosphite applications induce molecular modifications in potato tuber periderm and cortex that enhance resistance to pathogens. *Crop Protection* 32:1-6, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.025>
- Oyarburo N. S., M. F. Machinandiarena, M. L. Feldman, G. R. Daleo, A. B. Andreu and F. P. Olivieri (2015) Potassium phosphite increases tolerance to UV-B in potato. *Plant Physiology and Biochemistry* 88:1-8, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.01.003>
- Pilbeam R. A., I. J. Colquhoun, B. Shearer and G. E. S. J. Hardy (2000) Phosphite concentration: its effect on phytotoxicity symptoms and colonization by *Phytophthora cinnamomi* in three understory species of *Eucalyptus marginata* forest. *Australasian Plant Pathology* 29:86-95, <https://doi.org/10.1071/AP00016>
- Pilbeam R. A., K. Howard, B. L. Shearer and G. E. S. J. Hardy (2011) Phosphite stimulated histological responses of *Eucalyptus marginata* to infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Trees* 25:1121-1131, <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0587-1>
- Rossall S., C. Qing, M. Paneris, M. Bennett and R. Swarup (2016) A 'growing' role for phosphites in promoting plant growth and development. *Acta Horticulture* 1148:61-68, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1148.7>
- Salazar-Aguilar S., L. M. Ruiz-Posadas, J. Cadena-Iñiguez, M. Soto-Hernández, E. Santiago-Osorio, I. Aguiñiga-Sánchez, ... and J. F. Aguirre-Medina (2017) *Sechium edule* (Jacq.) Swartz, a new cultivar with antiproliferative potential in a human cervical cancer HeLa cell line. *Nutrients* 9:798, <https://doi.org/10.3390/nu9080798>
- Scott P., M. K. F. Bader and N. M. Williams (2016) Foliar phosphite application has minor phytotoxic impacts across a diverse range of conifers and woody angiosperms. *Physiologia Plantarum* 158:124-134, <https://doi.org/10.1111/ppl.12442>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022) Sistema de información agroalimentaria de consulta. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> (Septiembre 2022).
- Swarup R., U. Mohammed, J. Davis and S. Rossall (2020) Role of phosphite in plant growth and development. White Paper. School of Biosciences, University of Nottingham. Nottingham, UK. 13 p.
- Szabados L. and A. Savouré (2010) Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* 15:89-97, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Ticconi C. A., C. A. Delatorre and S. Abel (2001) Attenuation of phosphate starvation responses by phosphite in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 127:963-972, <https://doi.org/10.1104/pp.010396>
- Trejo-Téllez L. I. and F. C. Gómez-Merino (2018) Phosphite as an inductor of adaptive responses to stress and stimulator of better plant performance. In: *Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants*. S. Vats (ed.). Springer. Singapore. pp:203-238, https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_8
- Trejo-Téllez L. I., E. Estrada-Ortiz, F. C. Gómez-Merino, C. Becker, A. Krumbein and D. Schwarz (2019) Flavonoid, nitrate and glucosinolate concentrations in *Brassica* species are differentially affected by photosynthetically active radiation, phosphate and phosphite. *Frontiers in Plant Science* 10:371, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00371>
- Yáñez J. M. G., J. F. León R., T. P. Godoy A., R. Gastélum L., M. López M., J. E. Cruz O. y L. Cervantes D. (2012) Alternativas para el control de la cenicilla (*Oidium* sp.) en pepino (*Cucumis sativus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:259-270, <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i2.1461>
- Yáñez-Juárez M. G., C. A. López-Orona, F. Ayala-Tafoya, L. Partida-Ruvalcaba, T. J. Velázquez-Alcaraz y R. Medina-López (2018) Los fosfitos como alternativa para el manejo de problemas fitopatológicos. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36:79-94, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1710-7>