

ESTUDIO DE LOS SÍNTOMAS ASOCIADOS A LA PÉRDIDA DE COLOR DEL CHAYOTE

J. Cadena-Iñiguez¹; L. M. Ruiz-Posadas¹; J. F. Aguirre-Medina³; P. Sánchez-García²

¹Grupo Interdisciplinario de Investigación en Chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] en México (GISeM). Agustín Melgar 10, Col. Las Salinas, Texcoco, Estado de México, C. P. 56153. MÉXICO.

Correo-e: jocadena@colpos.mx (Autor responsable)

²Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5 Carretera México- Texcoco, Montecillo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias México, Serapio Rendón 83, Col. San Rafael, Del. Cuauhtémoc, D. F., C. P. 06470. MÉXICO.

RESUMEN

Bajo condiciones de invernadero, se reprodujeron los síntomas de deficiencias nutrimentales iniciales asociadas a la pérdida de vigor de planta y color del fruto de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. llamado chayote blanco, para evaluar la respuesta de adición de nutrimentos e inoculación de microsimbiontes. Se utilizó suelo de Actopan, Veracruz, México, separándolo en capas a 0-30, 30-60, 60-90 cm y mezcla del perfil completo para determinar su fertilidad. Se aplicaron 8.29 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1.0 g de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 4.4 g de K_2SO_4 , 1.15 g de FeSO_4 , MnSO_4 y ZnSO_4 , y 0.75 g de azufre, 40 g de *Glomus intraradices* (MA) y *Azospirillum brasilense* por cada 30 litros de capa de suelo. Se evaluó altura de planta, clorofila y biomasa total, asimilación de CO_2 y análisis con rayos-X de cortes del cuarto entrenudo inferior a la yema apical del tallo principal. El suelo evaluado presentó compuestos solubles de Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ y pH de hasta 7.9, además de 5.6, 50.3 y 4.7 veces más P, Ca^{2+} y Mg^{2+} que los valores consignados para la especie. En suelo de la capa 0-30 cm, las plantas presentaron mayor crecimiento y menor en 30-60, 60-90 cm y la mezcla. Los nutrimentos combinados con MA, así como con MA y *A. brasilense* fueron estadísticamente significativos. Las plantas testigo mostraron cristales formados por P, Ca, S, Si, Na y Mg obstruyendo los vasos del xilema de tallo. La evidencia experimental mostró que los síntomas iniciales asociados a chayote blanco, se deben en gran medida a deficiencias nutrimentales, siendo más evidentes en capas de suelo inferiores a 0-30 cm.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Sechium edule* (Jacq.) Sw., calcáreo, clorosis, micorriza,

SYMPTOMATOLOGY ASSOCIATED WITH THE LOSS OF COLOR IN CHAYOTE

ABSTRACT

The initial nutrimental deficiency symptoms associated to the loss of the plant vigor and fruit color of *Sechium edule* (Jacq.) Sw., locally called White Chayote, were reproduced under greenhouse conditions to evaluate response to nutriment addition and microsymbiont inoculation. The soil used was from Actopan, Veracruz, Mexico, and was subdivided into layers at 0-30, 30-60, 60-90 cm and mixture of total profile to determine fertility. For every 30 liters of soil layer, 8.29 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1.0 g of $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 4.4 g of K_2SO_4 , 1.15 g of FeSO_4 , MnSO_4 and ZnSO_4 , and 0.75 g of sulfur, 40 g of *Glomus intraradices* (MA) and *Azospirillum brasilense* were applied. Plant height, chlorophyll, total biomass, and CO_2 assimilation were evaluated; in addition, X-ray analyses were performed in cuttings from the fourth internode below the apical bud of the main stem. The soil showed Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ soluble compounds and pH of up to 7.9. In addition, values of P, Ca^{2+} and Mg^{2+} of 5.6, 50.3 and 4.7 times, respectively, above the consigned values for the species were found. Plants sown in the soil of the 0-30 layer showed the highest growth compared with the 30-60, 60-90 levels and total profile mixture. The nutrients mixed with MA, as well as with MA and *A. brasilense*, was statistically significant. The control plant showed crystals made of P, Ca, S, Si, Na, Mg obstructing the stem xylem bundles. The experimental evidence showed that the initial symptoms associated to White Chayote, were due mainly to nutrimental deficiencies, which was more evident in the levels of soil below 0-30 cm.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Sechium edule* (Jacq.) Sw., calcareous, chlorosis, mycorrhiza.

INTRODUCCIÓN

El chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) es una hortaliza de exportación que ha incrementado notablemente su aceptación en los mercados de Norteamérica (Cadena, *et al.*, 2001). Su demanda se ha podido satisfacer por el incremento en la superficie de cultivo aun cuando se ha llegado a los límites agroclimáticos para su desarrollo en Veracruz, México. Este hecho ha provocado reducción de rendimientos y baja calidad de los frutos. Esta especie es originaria del bosque mesófilo con suelos ricos en materia orgánica y pH ácido a ligeramente ácido (Lira-Saade, 1996). En estos suelos, la disponibilidad de Ca^{2+} y Mg^{2+} es relativamente baja y alta en Fe^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} . En Veracruz, se cultivan hasta 2000 hectáreas en regiones de bosque mesófilo, selva mediana perennifolia y selva baja caducifolia (Cadena *et al.*, 2001), siendo el primer exportador nacional (Anónimo, 1999). En la selva baja caducifolia se ubica la región de Actopan, la cual presenta suelos predominantemente calcáreos con pH de 7.7 a 7.9 (Vázquez *et al.*, 1992). El traslado de *S. edule* a esta región ha generado reducción en la calidad comercial del fruto de exportación debido a degradación y pérdida del color, tornándose de verde a blanco (chayote blanco). El chayote blanco en esta región se ha presentado a partir del ciclo 1997-1998 y los síntomas en campo asociados a este problema en plantas jóvenes se observan cuando éstas alcanzan alturas entre 0.4 y 2.0 metros, con clorosis en pecíolo, hoja y guía, reducción en altura de planta y pérdida de vigor en zarcillos y guías. Este problema afecta finalmente a los frutos quienes pierden el color verde característico hasta llegar al blanco. De acuerdo a Castellanos *et al.* (2000), es probable que en este tipo de suelo, exista baja disponibilidad de Fe^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} , así como altas concentraciones de HCO_3^- lo cual puede desencadenar desórdenes fisiológicos como baja tasa de síntesis de clorofila y asimilación de CO_2 (Brady y Weil, 1999), que afectan el desarrollo normal de las plantas. Las deficiencias que se presentan en estos suelos pueden resolverse en parte con nutrición mineral e inoculación con microorganismos simbiotes (Havlin *et al.*, 1999). En este sentido se sabe que las bacterias del género *Azospirillum* pueden incrementar el sistema radical (Okon y Kapulnik, 1986), aumentar la absorción de nutrimentos, agua, y en algunos casos los hongos micorrizógenos inducen traslocación mineral a la planta (Pedraza-Santos *et al.*, 2001). Con base en lo anterior, el objetivo general fue inducir en invernadero, los síntomas iniciales asociados al chayote blanco, para evaluar la respuesta a la adición de nutrimentos e inoculación de los microorganismos *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense*; considerando que el chayote blanco se genera por un desbalance nutrimental conforme las raíces profundizan en las capas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental, suelo y material biológico

La investigación se realizó en condiciones de

invernadero con una temperatura media máxima de 36 °C, mínima de 17 °C y 75 % de humedad relativa. El suelo provino del campo experimental La Bandera, municipio de Actopan, Veracruz, México. El suelo se separó en tres capas con base en su coloración: negra, gris y blanca a 0-30, 30-60 y 60-90 cm, respectivamente. A las capas del suelo se les realizó un análisis físico-químico producto de 25 puntos de muestreo para cada capa. El material biológico usado fueron frutos de chayote verde liso en madurez fisiológica de 37 días después de antésis con 18 ± 0.5 cm de largo y 12 ± 0.3 cm de ancho ecuatorial y peso promedio de 415 g procedente de Tlaltengo, Coscomatepec, Veracruz, México. Esta localidad se ubica en ambiente de bosque mesófilo con suelos ácidos y no se presenta el problema de chayote blanco. La investigación se desarrolló en dos fases; la primera consistió en reproducir los síntomas de clorosis en pecíolo, hoja y guía; reducción en altura de planta y pérdida de vigor en zarcillos observados en campo, y la segunda en evaluar la adición de nutrimentos e inoculación con microorganismos simbiotes. Los datos se analizaron con los programas SAS System Ver. 8 y Sigma Plot 7.0.

Reproducción de síntomas

Se estableció un fruto de chayote en cada bolsa de polietileno negro de 30 litros de capacidad usada como maceta (30 x 45 cm), con suelo de las capas separadas a 0-30, 30-60 y 60-90 cm y el perfil completo (0-90) dispuesto en forma natural. Se usó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (capas de suelo), seis plantas por tratamiento y cuatro repeticiones ($n=96$). Esta fase duró 45 días, tiempo en el que la planta reprodujo los síntomas visuales de chayote blanco observados en planta en condiciones de campo. El riego fue con agua destilada.

Adición de nutrimentos e inoculación

Esta fase inició cinco días después de finalizada la primera (50 días desde establecimiento), con duración total de cinco meses. En esta fase se aplicaron los nutrimentos y se inocularon los microsmbiotes al suelo. Se usó un diseño completamente al azar con seis tratamientos, cuatro plantas por tratamiento y cuatro repeticiones ($n=96$). Los tratamientos fueron los siguientes: 1) Testigo (agua destilada) 2) NPK+ S, 3) NPK + S + Fe + Mn + Zn, 4) NPK+ S + Fe + Mn + Zn + *Glomus intraradices* 5) NPK+ S + Fe + Mn + Zn + *Azospirillum*, 6) NPK+ S + Fe + Mn + Zn + *Azospirillum* + *Glomus intraradices*.

Dosis de fertilización, fuentes y cantidades por tratamiento

La fórmula de fertilización empleada fue N170-P46-K220 (Cadena *et al.*, 2001) y los micronutrimentos Fe30-Mn30-Zn30, además de 75 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de azufre agrícola como mejorador de suelos. Las fuentes de nutrimentos comerciales usadas fueron 8.29 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ al 20.5 % de N, 1.0 g de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ al 46 % de P_2O_5 , 4.4 g de K_2SO_4

al 50 % de K_2O , 1.15 g de $FeSO_4$, $MnSO_4$ y $ZnSO_4$, todos al 26 % del microelemento respectivo, además de 0.75 g de azufre agrícola al 95 %. La mezcla de todas las fuentes comerciales fue 17.89 g, los cuales fueron aplicados en tres partes, de tal forma que cada maceta recibió 5.96 g cada 22 días durante tres meses. Como microorganismos simbiotes se utilizó al hongo *Glomus intraradices* Schenk *et* Smith (MA) con 95 % de colonización usando como vehículo 40 g de suelo con raíces de sorgo infectado por bolsa conteniendo un promedio de 600 esporas, además de 40 g de la bacteria *Azospirillum brasilense* con un promedio de 9×10^6 células por gramo de turba, obtenidos del Campo Valle de México-INIFAP de Texcoco, Estado de México.

Variables respuesta

En la fase de reproducción de síntomas, se evaluó altura de planta y clorofila total en hojas y en la fase de adición de nutrimentos e inoculación, la clorofila total en hojas, infección microbiana en la raíz, biomasa total, asimilación de CO_2 y análisis de precipitados en xilema del tallo con rayos-X.

Altura, biomasa total y relación raíz-vástago

La altura se registró semanalmente en 96 plantas durante 45 días en el vástago (tallo) principal de la planta (Hunt, 1978). La biomasa se obtuvo al final del experimento (Coombs *et al.*, 1988), y la relación raíz-vástago a partir del cociente entre biomasa aérea y de raíz. No se registran datos de raíz tuberosa en la biomasa, ya que en este periodo de crecimiento (cinco meses) aún no se forma.

Infección microbiana de raíz

Para los tratamientos con *Glomus intraradices* Schenk *et* Smith, se cuantificó el porcentaje de colonización con la técnica de Phillips y Hayman (1970), observando al microscopio óptico con objetivo de inmersión en 100 segmentos de raíz con longitud aproximada de 1.5-1.6 cm.

Contenido de clorofila

Se determinó en hojas completamente expandidas del vástago principal ubicadas cuatro entrenudos inferiores de la yema apical. Se obtuvieron dos discos en cada lóbulo de la hoja con un sacabocados de 2 cm de diámetro. Un disco se utilizó para obtener el peso seco, el otro se colocó en un tubo de ensayo con 5 ml de N, N-dimetilformamida (Inskeep y Bloom, 1985), colocándolo en oscuridad a 4 °C por 24 horas y se determinó su absorbancia en nanómetros con un espectrofotómetro Spectronic 21D-Milton Roy. Los muestreos fueron cada 22 días por tres meses en dos plantas por tratamiento y capa de suelo, en total 96 determinaciones.

Asimilación de CO_2

Se registró la tasa de asimilación de CO_2 en 5 hojas

jóvenes completamente expandidas del vástago principal ubicadas cinco entrenudos inferiores de la yema apical con un sistema portátil cerrado de análisis de gases en el espectro infrarrojo modelo CIRAS-1 PP SYSTEMS entre las 10 y 11 am (Cadena *et al.*, 2001), cada 22 días por tres meses.

Microscopía electrónica

En la parte final del estudio, se obtuvieron cortes transversales en la parte media del tallo principal a la altura del cuarto entrenudo inferior a la yema apical, procesando el material de acuerdo a Bozzola y Russell (1992), fijando el material en glutaraldehído al 2.5 % durante 180 minutos y lavado posterior con "buffer" de fosfatos (pH 7.3; 0.16 M) por tres veces y deshidratando con etanol a partir de 30 hasta 80 % por cinco minutos y diez en alcohol al 96 % y absoluto. Fueron secados, montados con cinta adherente de carbono y recubiertos con oro al vacío para ser observados al microscopio electrónico de barrido JEOL SM35C y rayos-X (EDX). Se tomaron micrografías con película Kodak Verichrome Pan ASA120. Dentro del apartado de resultados no se presentan datos sobre rendimiento de frutos, ya que la duración del presente estudio fue de sólo cinco meses para abordar los síntomas iniciales asociados al problema del chayote blanco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reproducción de síntomas

El suelo utilizado en el estudio puede ser ubicado en la clasificación del manual 60 (U.S. Salinity Handbook 60, 1954) en Brady *et al.* (1999), como un suelo álcali blanco (alcalino), esto, en función de que la conductividad eléctrica no alcanza valores mayores de $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, la concentración de sodio es menor a 1.0 % y a la presencia de compuestos solubles de Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- determinados en las tres capas. Estos compuestos generan alcalinidad en los suelos, elevan el valor del pH y se consideran causas suficientes para interferir con el crecimiento de las plantas (Havlin *et al.*, 1999). El pH de las tres capas de suelo (Cuadro 1), fue de alcalino (7.7) a fuertemente alcalino (7.9-7.91). Estas características son contrastantes respecto de los sitios donde *S. edule* se desarrolla favorablemente de acuerdo con Lira-Saade (1996) y Becerra (1996), con pH de 4 a 6.4, fósforo 1.08, potasio 0.53, calcio 3.55, magnesio 1.25 todos en $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, sin presencia de Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^- . Comparando los contenidos de P, Ca^{2+} y Mg^{2+} de las capas de suelo evaluadas (Cuadro 1) contra las consignadas como favorables para *S. edule*, se puede apreciar que dichos elementos superan hasta en 5.6, 50.3 y 4.7 veces más respectivamente su contenido. Respecto del Fe^{2+} , Mn^{2+} y Zn^{2+} , los valores del Cuadro 1, fueron notablemente inferiores con relación a lo reportado por Becerra (1996), con valores en rangos de 17.64, 19.3 y 23.87 en $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ para los tres elementos.

CUADRO 1. Análisis físico-químico de tres capas de un suelo calcáreo a 0-30, 30-60 y 60-90 cm, procedente de Actopan, Veracruz, México. Valores de 25 puntos de muestreos por capa².

Determinación ^Y	Capa de suelo (cm)		
	0-30	30-60	60-90
Textura	Arcilla	Arcilla	Arcilla
pH	7.70	7.90	7.91
C. E. dS·m ⁻¹	3.2	2.4	1.8
Materia orgánica %	3.5	1.3	1.0
N total %	0.17	0.06	0.04
CIC meq·100 g ⁻¹	62.8	48.3	42.3
P mg·kg ⁻¹	6.70	2.06	2.06
K mg·kg ⁻¹	1.26	0.55	0.38
Ca mg·kg ⁻¹	53.9	44.0	37.0
Mg mg·kg ⁻¹	6.0	3.0	3.0
HCO ₃ meq·litro ⁻¹	3.92	3.36	3.36
SO ₄ meq·litro ⁻¹	1.46	1.42	1.22
Cl meq·litro ⁻¹	2.70	2.55	1.70
Fe mg·kg ⁻¹	1.70	1.03	1.13
Mn mg·kg ⁻¹	6.64	2.61	1.76
Zn mg·kg ⁻¹	11.26	1.70	0
Cu mg·kg ⁻¹	0.436	0.349	0.299
Na mg·kg ⁻¹	0.56	0.17	0.08

²Cada muestreo compuesto de 25 puntos de muestreo.

^YLaboratorio de nutrición vegetal, Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Referente a la altura de planta, las desarrolladas en la capa 0-30 cm fueron las que alcanzaron el mayor promedio (49.38 cm). Este hecho se registró desde la primera semana (Figura 1), mientras que las plantas crecidas en las capas 30-60 y 60-90 cm, tuvieron un crecimiento similar (39.64 y 40.77 cm, respectivamente) y el perfil completo (0-90 cm) fue el que indujo la menor altura (33.86 cm).

Con relación al contenido de clorofila en las hojas, la mayor concentración se registró en aquellas que fueron desarrolladas en las capas 0-30, 30-60 y 0-90 cm (Figura 2 A). Sin embargo, se considera que probablemente este valor no dependió totalmente de la fertilidad de la capa de suelo en que crecieron, ya que se ha observado, que la planta de chayote puede tener dependencia nutrimental del tejido de reserva del fruto por un tiempo superior a los 90 días después de sembrado, por tanto, con el fin de inducir mayor absorción nutrimental del suelo, se retiró el resto del fruto en la cuarta semana después de la germinación de la semilla contenida en éste. Bajo estas condiciones se realizó el segundo muestreo de clorofila 15 días después (Figura 2 B) y se observó un descenso en su contenido de hasta 59, 52, 62 y 68 % para las plantas crecidas en las capas 0-30, 30-60, 60-90 y 0-90 cm, respectivamente de la lectura inicial, evidenciando que a mayor profundidad del suelo, menor síntesis y contenido de clorofila en las plantas.

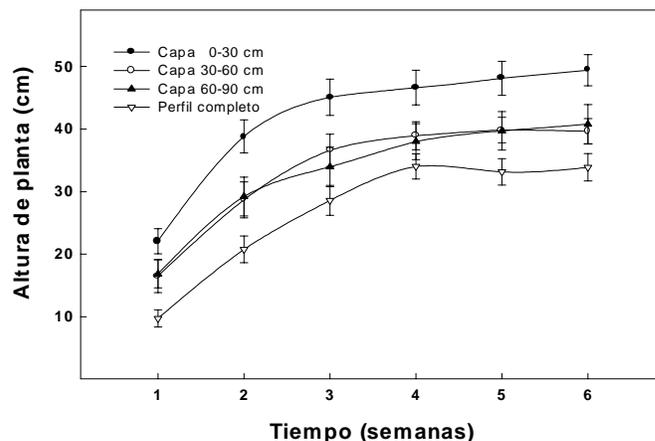


FIGURA 1. Altura total de planta de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. sembrada en tres capas de un suelo calcáreo y en mezcla de ellas con pH alcalino a 45 días desde siembra. Valores promedio de 24 observaciones por cada capa \pm error estándar.

Adición de nutrientes e inoculación

Los tratamientos con nutrimentos y microorganismos se aplicaron a los 50 días acumulados desde la siembra. Las plantas de la capa 0-30 cm registraron mayores valores de biomasa aérea para los tratamientos cuatro (NPK+ S + Fe + Mn + Zn + *Glomus intraradices*) y seis (NPK+ S + Fe + Mn + Zn + *Azospirillum* + *Glomus intraradices*), mientras que el testigo mostró un descenso gradual en el valor de biomasa aérea conforme la planta se desarrolló en las capas inferiores a 0-30 cm (Cuadro 2).

Aun cuando no existió diferencia estadística entre tratamientos para biomasa de raíces, es relevante notar que todos los tratamientos superaron al testigo y que los valores más bajos se obtuvieron en las capas 30-60 y 60-90 cm, evidenciando baja fertilidad. Con relación a la infección micorrízica en las raíces de plantas inoculadas con *Glomus intraradices*, el porcentaje osciló entre 36 y 67, donde el menor valor fue para las capas 30-60 y 60-90 cm y el mayor para la 0-30 cm. Es probable que la deficiencia de minerales, baja disponibilidad de materia orgánica, así como el pH elevado de las capas inferiores (Cuadro 1) haya sido desfavorable para la actividad microbiana en la rizósfera como lo afirmaron Brady y Weil (1999).

Al relacionar los valores de biomasa aérea y de raíz (relación raíz-vástago) se observó que las plantas crecidas en la capa 0-30 cm (Figura 3), tuvieron la mayor proporción en ambas variables respecto de las capas 30-60 y 60-90 cm. Así mismo, se apreció que los tratamientos con adición de nutrimentos exceptuando el cinco en la capa 30-60 cm (Figura 3) elevaron dicha proporción respecto del testigo. Sin embargo, al sumar el efecto de la adición de nutrimentos con *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense*, la relación alcanzó su máxima proporción respecto del testigo,

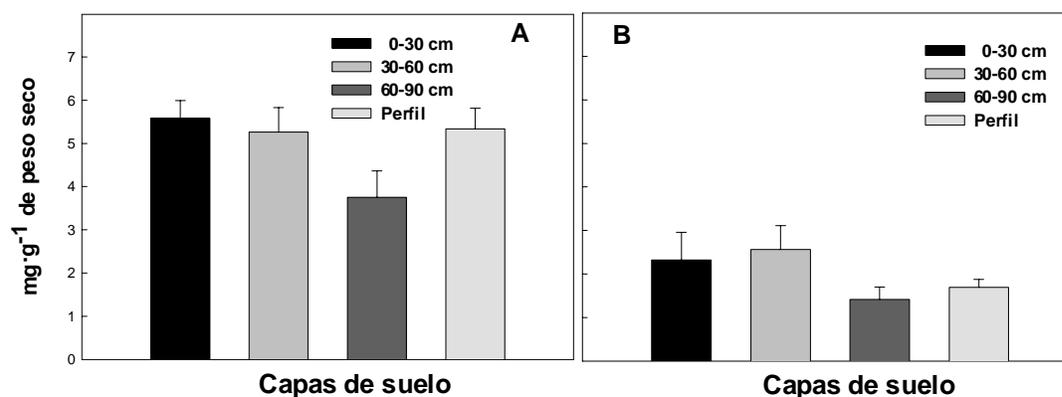


FIGURA 2. Contenido de clorofila total en hoja de plantas de *Secchium edule* (Jacq.) Sw. sembradas en tres capas de un suelo calcáreo y en mezcla de ellas con pH alcalino. A: determinación a 30 días de sembrada con el fruto adherido. B: determinación a 15 días después de retirado el fruto y 45 días acumulados desde siembra. Valores promedio de cuatro repeticiones por capa (n = 96) ± error estándar.

CUADRO 2. Comparaciones de medias de biomasa seca de vástago y raíz de plantas de *Secchium edule* (Jacq.) Sw. sembradas en tres profundidades de un suelo calcáreo y en mezcla de ellos a cinco meses desde siembra. Valores promedio de cuatro repeticiones por capa (n = 96) ± error estándar.

Nivel	Biomasa aérea (g)				Biomasa radical (g)			
	Capas de suelo (cm)				0-30	30-60	60-90	Perfil
	0-30	30-60	60-90	Perfil				
1 ^Z	7.2±0.2 b ^T	5.7 ±0.2 b	4.4±0.2 c	5.3 ±0.2 c	4 ±0.2 a	3.4±0.3	3 ±0.2	4.7±0.2
2 ^Y	12.7±0.3 ab	6.9 ±0.1 b	6.1±0.2 b	5.4 ±0.2 c	9 ±0.1 b	4.3±0.2	4.6±0.2	5.7±0.3
3 ^X	11 ±0.2 ab	11 ±0.4 a **	9.7±0.1 a **	15 ±0.4 a **	5.3±0.1 b	5.4±0.1	6.5±0.1	4.4±0.1
4 ^W	16.5±0.6 a **	12 ±0.4 a **	9.3±0.3 a **	15 ±0.4 a **	11 ±0.4 b	6.6±0.2	5.8±0.1	5.0±0.2
5 ^V	13.6±0.3 ab	5 ±0.1 b	6.6±0.1 b	12 ±0.7 b *	9.5±0.1 b	3.2±0.1	3.2±0.2	7.9±0.5
6 ^U	23.6±0.1 a **	13 ±0.7 a **	11 ±0.4 a **	8.4±0.2 bc	12 ±0.4 b	6.7±0.2	3.7±0.1	3.6±0.2
CV		29.69 %				33.17 %		
DMSH		7.03				4.36		

^ZTestigo (agua destilada).

^YNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g.

^XNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g+ manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g.

^WNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g+ manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g + *Glomus* 40 g.

^VNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g+ manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g + *Azospirillum* 40 g.

^UNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g+ manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g + *Azospirillum* 40 g + *Glomus* 40 g.

^TValores con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

*, **: significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente CV: Coeficiente de variación.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

obteniendo valores de hasta un 68.5, 53.8 y 68 % para las capas 0-30, 30-60 y 60-90 cm, respectivamente. Lo anterior permite considerar la ventaja de reponer los nutrientes a estos suelos e incluir microorganismos para favorecer la nutrición de la planta. Jaen (1992), trabajando con el hongo *Glomus mosseae* en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) determinó que las hifas de *Glomus mosseae* son capaces de producir metabolitos que pueden ser importantes para liberar y abastecer de nutrimentos a la planta a través de la exploración, liberación y traslocación de N, P, K, Mg, Ca, Mn, Cu, Zn, Fe y S, lo cual mejora la nutrición de las plantas inoculadas.

El contenido de clorofila total y tasa de asimilación de CO₂ registrados en la hoja, presentaron un patrón semejante a los resultados obtenidos con las otras variables (Cuadro 3). Los valores más altos se registraron en las plantas crecidas en la capa 0-30 cm, superando al testigo hasta en seis veces en el caso de clorofila y 2.5 veces más para CO₂. El bajo contenido de pigmentos en hojas de plantas crecidas en 30-60, 60-90 cm y perfil completo (Cuadro 3) generaron clorosis, bajo vigor en la guía principal y necrosis final (semejante a una quemadura) de los tejidos como se ha observado en la región de Actopan. El bajo contenido de clorofila redujo la actividad

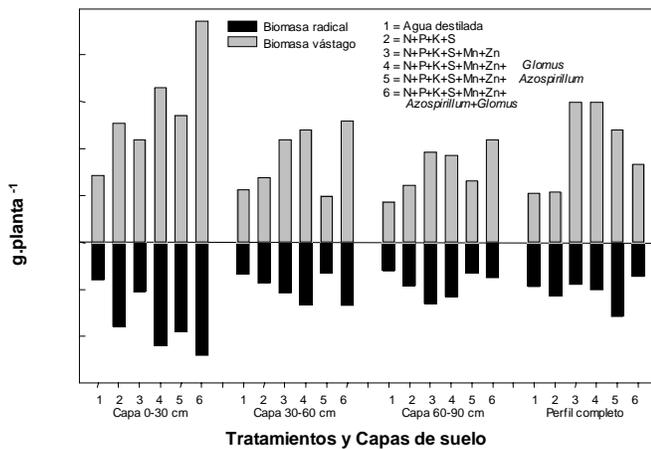


FIGURA 3. Relación raíz/vástago de plantas de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. sembradas en tres capas de un suelo calcáreo y en mezcla de ellas con pH alcalino a cinco meses desde siembra. Valores promedio de cuatro repeticiones por capa (n = 96).

fotosintética, debido a que existe una relación entre la eficiencia de asimilación de CO_2 y la fluorescencia de la clorofila presente, de tal forma que a mayor contenido de clorofila, mayor eficiencia de asimilación de CO_2 (Krause y Weis, 1991; Lu y Lu, 2004). Aunque en la presente investigación la fluorescencia no fue registrada, la relación entre el contenido de clorofila y asimilación de CO_2 indicó una dependencia equivalente al 51 % con una tendencia positiva en la dispersión de los valores (Figura 4). Esto

permite suponer que, a mayor contenido de clorofila, mayor asimilación de CO_2 . Quintero (1995) y Chova *et al.* (2003), citan que el bajo vigor en la planta y la pérdida de color en el fruto de olivo (*Olea europaea* L.) se asoció a clorosis por bajo contenido de clorofila y carotenoides inducido por insolubilidad del Fe^{2+} y Mn^{2+} en suelos calcáreos.

El análisis microscópico y de rayos-X realizado al xilema del tallo (Cuadro 4), permitió observar la presencia de precipitados (cristales) compuestos por P, Ca, S, Si, Na

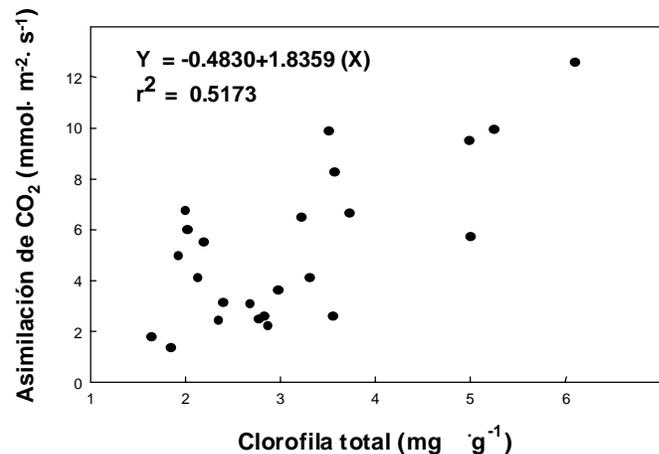


FIGURA 4. Relación lineal entre el contenido de clorofila total y tasa de asimilación de CO_2 en hojas de plantas de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. sembradas en tres capas de un suelo calcáreo y en mezcla de ellas con pH alcalino a cinco meses desde siembra. Valores promedio de cuatro repeticiones por capa (n = 96).

CUADRO 3. Contenido de clorofila total y tasa de asimilación de CO_2 en plantas de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. sembradas en suelo calcáreo de tres profundidades y en mezcla de ellos a cinco meses desde siembra. Valores promedio de cuatro repeticiones por capa (n = 96).

Nivel	Clorofila total (mg g^{-1} de peso seco)				Asimilación de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	Capas de suelo (cm)							
	0-30	30-60	60-90	Perfil	0-30	30-60	60-90	Perfil
1 ^z	1.93 a ^T	2.13 a	1.85 a	2.02 a	4.99 a	4.1 ab	1.35 a	6 b *
2 ^y	3.73 b *	2.77 a	3.56 b *	2.68 a	6.65 a	2.5 a	2.6 a	3.09 a
3 ^x	4.99 b *	3.22 a	2.2 a	3.57 b *	9.50 b *	6.5 b *	5.5 b *	8.25 c**
4 ^w	5.25 b *	3.31 a	2.35 a	3.51 b *	9.95 b *	4.1 ab	2.45 a	9.9 c**
5 ^v	6.1 b *	2.98 a	1.65 a	2.87 a	12.6 c**	3.65 a	1.8 a	2.2 a
6 ^u	5.0 b *	2.4 a	2.83 b *	2.0 a	5.75 a	3.12 a	2.62 a	6.75 b *
CV		25.71 %					39.17 %	
DMSH		1.3					3.41	

^zTestigo (agua destilada).

^yNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g.

^xNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g + manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g.

^wNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g + manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g + *Glomus* 40 g.

^vNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g + manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g + *Azospirillum* 40 g.

^uNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + fierro 1.15 g + manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g + *Azospirillum* 40 g + *Glomus* 40 g.

^TValores con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

*, **: significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente CV: Coeficiente de variación.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

y Mg. Es relevante notar que el contenido porcentual de cada elemento en la composición de los cristales fue diferente según la capa de suelo donde crecieron las plantas. La comparación mostrada entre el tratamiento cuatro (NPK+ S + Fe + Mn + Zn + *Glomus intraradices*) y el testigo para fósforo y calcio, permitió apreciar que la acumulación de cristales en las plantas testigo crecidas en las capas 0-30 y 30-60 cm, fue de 6.95 y 4.37 veces más de fósforo y calcio con respecto a lo registrado en las plantas crecidas en las mismas capas de suelo bajo el tratamiento cuatro. Lo anterior permite considerar que la absorción mineral fue cuantitativamente regulada cuando estuvo presente *Glomus intraradices* que en las plantas testigo. Sin embargo, las plantas desarrolladas en la capa 60-90 cm (Cuadro 4) mostraron un patrón inverso, ya que la absorción fue menor en las plantas testigo que en las tratadas con el microorganismo.

La acumulación de cristales generó cierta obstrucción en los haces del xilema del tallo. La Figura 5 A, B y C, muestran los cortes hechos a las plantas testigo crecidas en las tres capas de suelo, y es posible apreciar como ésta aumentó gradualmente conforme la capa de suelo fue más profunda, llegando inclusive a tapar totalmente los haces vasculares de las plantas crecidas en la capa 60-90 cm (Figura 5 C). Los cristales obstruyendo los haces no pudieron ser cuantificados, sin embargo, se obtuvo el promedio del área obstruida como diámetro aproximado, registrándose para la capa 0-30 una obstrucción de 51.38 ± 6.9 mm (Figura 5 A), de 101.08 ± 5.43 y 126.08 ± 2.17 mm para las capas 30-60 y 60-90 cm, respectivamente (Figura 5 B y C), evidenciando mayor acumulación de cristales en plantas crecidas en las capas inferiores a 0-30 cm. La acumulación de minerales en el tejido circundante a los haces de xilema mostró la existencia de esferocristales (Figura 5 D) y cristales cúbicos (5 E), mientras que en la Figura 5 F, se muestran cristales en forma de estiloides

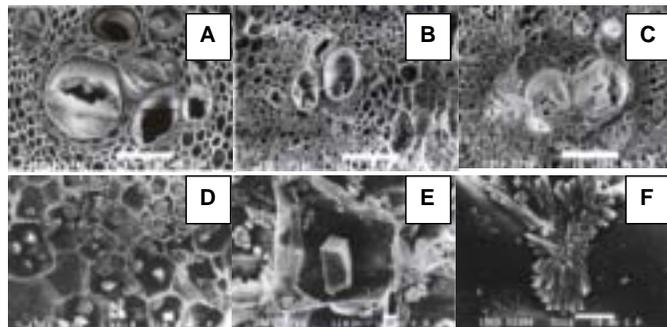


FIGURA 5. Corte transversal de xilema de tallo de *Secchium edule* (Jacq.) Sw. sembradas en tres capas de un suelo calcáreo y en mezcla de ellas con pH alcalino a cinco meses desde siembra sin tratamientos. A, B, C: xilema de plantas crecidas en capas 0-30, 30-60, 60-90 cm, respectivamente. D y E esferocristales y cristal cúbico en tejido circundante a xilema. F: cristales estiloides rompiendo células epidérmicas de superficie adaxial de la hoja. Micrografías de microscopio electrónico de barrido a 300X, 300X, 300X, 480X, 780X, 2200X, respectivamente.

rompiendo las células epidérmicas de la superficie adaxial de la hoja. Horner y Wagner (1995), mencionaron que el proceso de biomineralización y formación de cristales es una forma de cómo las plantas eliminan los excesos de minerales absorbidos. Sin embargo, cuando este proceso es superado, los tejidos se rompen y el funcionamiento de la planta se deteriora.

CONCLUSIONES

Aun cuando los estudios acerca de los requerimientos nutrimentales de *S. edule*, no han sido abordados con mayor precisión y por ello no existen evidencias al respecto, es posible considerar que las características físico-químicas del suelo de la región de Actopan, en comparación a las

CUADRO 4. Contenido relativo de P, Ca, S, Si, Na y Mg en cristales de xilema de tallo de plantas de *Secchium edule* (Jacq.) Sw. sembradas en suelo calcáreo de tres profundidades y en mezcla de ellos a cinco meses desde siembra. Valores promedio de siete observaciones \pm error estándar.

Elemento	Contenido relativo de minerales en los precipitados de xilema (%) ²					
	Capas de suelo (cm)					
	0-30		30-60		60-90	
	1 ^y	4 ^x	1	4	1	4
P	34.31 \pm 13.56	4.93 \pm 8.1	23.25 \pm 15.7	5.32 \pm 8.03	8.61 \pm 13.6	48.34 \pm 9.1
Ca	17.43 \pm 11.21	0.51 \pm 1.59	17.64 \pm 11.8	0.62 \pm 0.24	27.93 \pm 12.3	51.19 \pm 5.7
S	ND	3.97 \pm 2.1	ND	2.71 \pm 0.21	ND	ND
Si	3.52 \pm 0.01	2.48 \pm 2.3	1.19 \pm 0.02	2.77 \pm 0.29	ND	ND
Na	0.423 \pm 1.93	1.78 \pm 1.68	2.65 \pm 2.06	1.82 \pm 0.32	5.36 \pm 1.83	0.47 \pm 0.58
Mg	0.352 \pm 0.32	0.39 \pm 0.42	0.48 \pm 0.34	0.208 \pm 0.37	0.91 \pm 0.21	0.83 \pm 0.14

²Contenido relativo respecto de oro que fue el cubrimiento de las muestras para analizar con rayos-X.

^yTestigo (agua destilada).

^xNitrógeno 8.29 g + fósforo 1.0 g + potasio 4.4 g + azufre 0.75 g + hierro 1.15 g + manganeso 1.15 g + zinc 1.15 g + *Glomus* 40 g.

ND: No detectado.

reportadas para los suelos donde la especie se distribuye favorablemente, son limitantes para un desarrollo normal. Bajo las evidencias experimentales mostradas, se puede considerar que los síntomas iniciales asociados a la pérdida de color del fruto de chayote, se deben en gran medida a deficiencias nutrimentales, cuyo efecto es más evidente en plantas desarrolladas en las capas de suelo inferiores a 0-30 cm. La consecuencia de esto se refleja en desordenes como la baja síntesis de clorofila y fijación de CO₂, reduciendo el vigor y la asignación de materia seca. Los resultados experimentales, indicaron que es necesario adicionar nutrimentos al suelo evaluado para atenuar las deficiencias, y que la inoculación con *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* mejora notablemente la respuesta de la planta, lo cual puede ser una alternativa para el manejo desde inicio de plantación en campo.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 1999. Estudio de factibilidad económica para la exportación de chayote sin espinas (*Sechium edule*). Centro Bancomext. Veracruz, México. 179 p.
- BECERRA, Z. J. 1996. Estudio Agroecológico del Chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Swartz en el Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana Xalapa. Xalapa, México.
- BOZZOLA, J. J.; RUSSELL, D. L. 1992. Electron Microscopy. Principles and Techniques for Biologists. Jones and Bartlett Publishers, England
- BRADY, C. N.; WEIL, R. R. 1999. The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall, USA. pp. 323-433
- CADENA I., J.; RUIZ P., L. M.; TREJO L., C.; SÁNCHEZ G., P.; AGUIRRE M., J. F. 2001. Intercambio de gases y relaciones hídricas del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw. Revista Chapingo Serie Horticultura 7(1): 21-35
- CASTELLANOS J., Z; UVALLE-BUENO J., X.; AGUILAR-SANTELIS, A. 2000. Interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. INIFAP. México. pp. 20-157
- COOMBS, J. D.; HALL, O.; LONG, S. P.; SCURLOCK, J. M. 1988. pp. 1-33 *In*: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. (eds) Editorial Futura, S.A. México.
- CHOVA, M. M.; PEÑA, F.; CAMPILLO, M. C.; DELGADO, A.; DÍAZ, M. A. 2003. Efecto de la corrección de clorosis férrica en olivar con fosfato de hierro en los parámetros de calidad del aceite de oliva virgen. Universidad de Córdoba. Córdoba España pp. 1-14
- HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. 1999. Soil fertility and fertilizers an introduction to nutrient management. Prentice Hall. USA. pp. 6-154
- HORNER, H. T.; WAGNER, B. L. 1995. Calcium oxalate formation in higher plants. SAEED, R. K. (ed) CRC Press. USA. pp. 53-72
- HUNT, R. 1978. Plant Growth Analysis. Edward Arnold publisher. London, U K. pp. 1-67.
- INSKEEP, P. W.; BLOOM, R. P. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll *a* and *b* in N, N -Dimethylformamide and 80 % Acetone. Plant Physiology 77: 483-485
- JAEN, C. D. 1992. Efecto de los hongos endomicorrízicos, ácido giberélico y de la fertilización NPK sobre el crecimiento y fructificación de fresa (*Fragaria x annassa* Duch.CV. Chandler.) Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp. 70-89
- KRAUSE, G. H.; WEIS, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. Annual Review Plant Physiology 42: 313-349
- LIRA-SAADE, R. 1996. Chayote. *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Promoting the conservation and use of under utilized and neglected. Crops 8. IPGRI. Rome, Italy. 57 p.
- LU, Q.; LU, C. 2004. Photosynthetic pigment composition and photosystem II photochemistry of wheat ears. Plant Physiology and Biochemistry 42: 395-402
- OKON, Y.; KAPULNIK, Y. 1986. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. Plant and Soil 90: 3-16
- PEDRAZA-SANTOS, M.; JAEN-CONTRERAS, D.; GUTIÉRREZ-ESPINOSA, A.; COLINAS-LEÓN, T.; LÓPEZ-PERALTA, C. 2001. Crecimiento y nutrición de microplantas de gerbera inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. Agrociencia 35: 149-158
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. J. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55: 158-161
- QUINTERO, E. 1995. Iron availability in tissues-iron chlorosis on calcareous soil. Nutrition in Soils and Plants 389-397
- VÁZQUEZ, T. V.; ZULUETA, R. R.; LARA, M. C. 1992. Análisis de la Flora de Malezas del campo experimental La Bandera Municipio de Actopan, Veracruz. La Ciencia y el Hombre 11: 78-79