

Deficiencias nutrimentales inducidas en higuera cv. Neza en condiciones hidropónicas

Yolanda Leticia Fernández Pavía¹

José Luis García Cue^{1§}

Sylvia Patricia Fernández Pavía²

Alfonso Muratalla Lúa¹

¹Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco Estado de México. CP. 56230. (yletif@yahoo.com.mx; muratalla@colpos.mx). ²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. (fernandezpavia@hotmail.com).

§Autora para correspondencia: jlgcue@colpos.mx.

Resumen

La higuera (*Ficus carica* L.) es uno de los árboles más antiguo del mundo, produce frutos con alto contenido nutricional y se utiliza con fines medicinales. En la actualidad, este cultivo ha tenido mucha importancia en México, por eso se planteó esta investigación que tuvo como objetivo: analizar las deficiencias nutrimentales inducidas en plantas de higuera *Ficus carica* cv. Neza en condiciones de hidroponía mediante la técnica del elemento faltante. Para llevarla a cabo, se prepararon seis soluciones, una con todos los iones y cinco con un elemento nutrimental faltante. El experimento se planteó bajo un diseño completamente al azar con seis tratamientos (solución completa y cinco de ellos sin un macronutriente: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) con cinco repeticiones. Se evaluaron variables de crecimiento: número de hojas, altura, diámetro del tallo, número de frutos y área foliar. Además, se realizaron análisis químicos del tejido para confirmar la deficiencia nutrimental y la sintomatología visual. Se analizaron los datos a través de un ANVA y pruebas de Tukey ($\alpha= 0.05$). Se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos sin nitrógeno y sin calcio con respecto a la solución completa (Solcomp) en las variables de crecimiento y de contenido nutrimental manifestándose de manera visual. En el tratamiento sin fósforo (SP) no se manifestaron diferencias significativas. Como conclusión, la información sobre contenido de N, P, K, Ca y Mg en el tejido foliar servirá como referencia a productores de esta especie para corregir deficiencias nutrimentales de estos elementos en el desarrollo de la higuera.

Palabras clave: *Ficus carica* cv. Neza, análisis foliar, fisiopatía, síntomas visuales.

Recibido: febrero de 2020

Aceptado: abril de 2020

Introducción

La investigación que se presenta fue resultado de una serie de experimentos propuestos y elaborados a partir de la técnica del elemento faltante en condiciones hidropónicas de acuerdo con la metodología de Fernández-Pavia *et al.* (2015) comenzado por el cultivo de nopal y continuando con distintos árboles frutales y frutillas. El trabajo actual muestra los resultados en planta de higuera *Ficus carica*, cv. Neza. La higuera (*Ficus carica* L.) es uno de los árboles frutales más antiguos. Simão (1998) mencionó que su origen se ubica en Asia Menor (Turquía) y Lev-Yadun *et al.*, (2007) mencionaron que se domesticó hace aproximadamente 6 500 años.

La higuera es una planta que se destaca por producir frutos de alto contenido nutricional, con azúcares, minerales, antioxidantes y vitaminas A, B y C, con alto contenido de calcio, hierro y cobre. El fruto maduro se consume en seco, crudo, encurtido o en mermelada, se utiliza con fines medicinales como anticancerígeno, laxante, antihelmíntico, calmante, remedio para la tos o ciertas infecciones de la piel (Hashemi y Abediankenari, 2013). La higuera pertenece a la familia *Moraceae* y se conocen más de 750 variedades (López-Corrales *et al.*, 2011) en todas las regiones cálidas del mundo. FAOSTAT (2018) publicó que los cuatro principales países productores de higo son Turquía (306 499t), Egipto (189 339 t), Marruecos (128 380 t) y Argelia (109 214 t).

Muñoz-Villalobos *et al.* (2015), explicaron que, en México, las higueras persisten desde la época colonial, en forma de poblaciones criollas en regiones ecológicas diversas, con escaso manejo agronómico. Mendoza-Castillo *et al.* (2017) consideraron que en la actualidad el cultivo de esta especie se ha incrementado como una alternativa económica para el sector rural. También explicaron que Estados Unidos de América importa más de 11 millones de dólares anuales de higos frescos y procesados, desde Turquía e Italia.

SAGARPA (2018) publicó que, en México, existe una superficie plantada con higuera de aproximadamente 1 357.75 ha, con una producción anual de 7 704.98 t. Las entidades que participan en la producción de higo en orden de importancia son: Morelos (39%), Baja California Sur (22%), Veracruz (16%), Puebla (12%), Hidalgo (4%), Durango (2%), Jalisco (2%), Ciudad de México (1%), San Luis Potosí (0.4%), Sonora (0.4%) y Zacatecas (0.1%).

Rivera *et al.* (2017) explicaron que la información que existe a nivel mundial, está enfocada sobre aspectos de fertilidad, y destacan que los niveles de nitrógeno y potasio promueven los mayores índices de cosecha. En México, hasta el momento, hay poca información en fuentes documentales sobre síntomas visuales inducidos por deficiencias nutricionales en la higuera. Por lo que, se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo se manifiestan las deficiencias nutrimentales en plantas de higuera *Ficus carica* cv Neza inducidas bajo condiciones de hidroponía mediante la técnica del elemento faltante?

Para responder esta interrogante se propuso una investigación que tuvo por objetivo analizar las deficiencias nutrimentales inducidas en plantas de higuera *Ficus carica* cv. Neza bajo condiciones de hidroponía mediante la técnica del elemento faltante. La hipótesis propuesta consistió en que: Mediante la técnica del elemento faltante bajo condiciones de hidroponía, se induce en la planta de higuera *Ficus carica* cv. Neza deficiencias nutrimentales que son notorias de manera visual y detectada en análisis químicos.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

La investigación se realizó en condiciones de invernadero, en la Unidad de Investigación Dr. Ramón Fernández González localizado dentro de las coordenadas 19° 46' de latitud norte y 98° 88' longitud oeste y a una altitud 2 250 m, ubicado en Lomas de San Esteban, Texcoco, Estado de México.

Material vegetal

Se utilizó un cultivar criollo de higuera *Ficus carica* cv. Neza, provenientes de huertos de traspatio propagados en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo. El cultivar es precoz ya que se cosechó cinco meses después del enraizamiento de la estaca. La higuera tiene frutos de epicarpio negro pálido y pulpa de color púrpura.

Se caracteriza por ser vigoroso y tener una gran adaptación ambiental a altitudes de 1 000 y 3 000 m y el fruto se desarrolla óptimamente a temperaturas que oscilan entre 12 y 40 °C. El fruto es partenocárpico con un tamaño medio (72.9 ±20.2 g), color negro en su máxima madurez, los sólidos solubles totales promedian 17.3 ±5.4 °Brix, su forma es un poco alargada con una relación largo/ancho de 1.41 ±0.3 y puede conservarse a 4 ±1 °C por 15 días sin demeritar su calidad.

Obtención de las plantas de higuera

Se usaron estacas cortadas de un árbol de siete años de edad de cuatro metros de altura. Se cortaron de 25 cm de longitud tratadas en la parte basal con ácido indolbutírico potásico a una concentración de 200 ppm. El enraizamiento se llevó a cabo durante 90 días en un contenedor de plástico negro de 500 g usando turba como sustrato.

Solución nutritiva

La composición de las soluciones nutritivas empleadas en el experimento se basó en la solución universal de Steiner (1966) para los macronutrientes (me L⁻¹ NO₃⁻ 12, H₂PO₄⁻ 1, SO₄²⁻ 7, K⁺ 7, Ca²⁺ 9, Mg²⁺ 4). La concentración de micronutrientes (mg L⁻¹) para todas las soluciones, fue: Fe 4, B 0.87, Mn 1.6, Zn 0.23 y Cu 0.011 de acuerdo con Fernández-Pavía *et al.* (2012).

Establecimiento del experimento

El experimento se estableció entre los meses de abril a julio de 2017. A la estaca de la higuera se le eliminó el sustrato del cepellón y se trasplantó en un sistema hidropónico cerrado, el cual consistió en contenedores individuales de plástico de 6 L pintadas de color negro con tapa perforada; a cada contenedor se le colocó una manguera de 4 mm de diámetro con aire forzado, para oxigenar las raíces con niveles de al menos 2 mg L⁻¹. Cada contenedor se consideró como una unidad experimental, el cual se aforó a un volumen de 5 L con solución nutritiva universal de (Steiner, 1966 en Fernández-Pavía *et al.* 2012). La solución se preparó con sales químicas grado reactivo, el pH de la solución se ajustó entre 5.5 y 6, con un medidor de pH marca Conductronic®.

Diseño experimental y tratamientos

Después del período de adaptación, se inició la aplicación de la ‘técnica del elemento faltante’. Para ello, se establecieron seis tratamientos y se prepararon seis soluciones, una con todos los iones (solución completa- SCOMP y cinco con un elemento nutrimental faltante en plantas de higuera para inducir los síntomas relacionados con las deficiencias correspondientes a N, P, K, Ca, y Mg, con cinco repeticiones por tratamiento, los cuales se distribuyeron bajo un diseño experimental completamente al azar.

Las plantas se sometieron a los tratamientos durante 90 días entre los meses de mayo y julio de 2017. Durante los 90 días, el volumen de solución gastado en cada unidad experimental se restituyó con agua destilada, al volumen original de 5 L y se ajustó el pH. Asimismo, las soluciones nutritivas se renovaron completamente cada 15 días.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: número de hojas, número de frutos, altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm) y área foliar LI-COR[®] (cm²). También, se determinó el contenido de N, P, K, Ca y Mg en hojas (g kg⁻¹).

Contenido de N, P, K, Ca y Mg (g kg⁻¹)

Se determinó por medio del análisis químico de tejido en plantas de 90 días de edad. Se muestrearon todas las hojas de cada planta, se colocaron en bolsas de papel y se secaron en estufa de aire forzado Thermolab[®] durante 24 h a 70 °C. Una vez secas, las muestras se molieron en un molino[®] Thomas scientific tamiz de acero inoxidable malla 5 mm para molino Wiley[®] de acero inoxidable, provisto de una malla de tamiz 40. Con dicho material se cuantificó el contenido de nitrógeno total, empleando el método semimicro-Kjedahl, descrito en el manual de la AOAC (1995). La determinación de P, K, Ca y Mg, se realizaron mediante digestión húmeda di ácida (AOAC, 1995) y cuantificados por ICP-AES Varian[®].

Sintomatología

El registro de los síntomas de deficiencias en hojas se llevó a cabo de manera visual y se expresan mediante fotografías (Figuras 1, 2, 3, 4, 5). Las plantas se observaron cada tercer día para registrar la incidencia de clorosis, presencia de manchas amarillas, rojizas o púrpuras, necrosis, deformidades, disminución del crecimiento o muerte de las plantas.

Análisis de datos

Para comenzar, se contrastaron los datos obtenidos de valores reportados por dos diferentes autores que trabajaron en los contenidos macronutrientales de la higuera con los obtenidos en este trabajo. Después, se analizaron los datos obtenidos a través de pruebas de normalidad Shapiro-Wilk ($\alpha= 0.05$) donde se observó que todas las variables se comportaron bajo la distribución normal. También se aplicaron pruebas de Levene ($\alpha= 0.05$) para verificar homocedasticidad. Más adelante, se procedió a realizar análisis de la varianza (ANVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$) tanto para los parámetros de crecimiento como del contenido nutrimental del tejido foliar. Los cálculos se hicieron apoyados del paquete SAS 9.4 bajo Windows.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se presentan los valores adecuados de N, P, K, Ca y Mg para el cultivo de higo de acuerdo con Raji *et al.* (1996); Malavolta (1997) que fueron reportados por Leonel y Costa (2011). También, se muestran los valores obtenidos en este trabajo cuando hay ausencia macronutricional de algún elemento en tejido foliar.

Cuadro 1. Valores de macronutrientos considerados como adecuados en el cultivo de higo (*Ficus carica* cv. Neza) contra los obtenidos en esta investigación con el elemento faltante.

Macronutriente	Raji <i>et al.</i> (1996)	Malavolta <i>et al.</i> (1997)	Valores obtenidos
N	20-25	22-24	18.97
P	1-3	1.2-1.6	1.7
K	10-30	12-17	0.761
Ca	30-50	26-34	10.05
Mg	7.5-10	6-8	1.27

Los valores están expresados en g kg⁻¹.

En el Cuadro 1 se destaca que solo en fósforo (P) no se manifestaron carencias nutrimentales. Más adelante, se explica el comportamiento de cada uno de los elementos con mayor detalle. También, se muestran los resultados obtenidos tanto en el ANVA como en la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) de variables de crecimiento en plantas de higuera *Ficus carica* cv. Neza. El Cuadro 2 muestra los resultados obtenidos tanto en el ANVA como en la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) del contenido de macronutrientos en la hoja de la higuera cv Neza.

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables de crecimiento en plantas de higuera *Ficus carica* cv. Neza.

Tratamiento	Núm. de hojas	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Núm. de frutos	Área foliar (cm ²)
SCOMP	15.6 ab	31.54 a	0.95494 ab	7.4 a	1218.8 a
SN	1.2 c	9.92 c	0.66526 cd	0 b	15.4 b
SP	16.8 a	26.52 abc	0.98042 a	6 a	1259.8 a
SK	14.8 ab	27.88 ab	0.91038 abc	6.8 a	570.9 b
SCa	1.4 c	13.61 bc	0.6016 d	0.2 b	48.6 b
SMg	8.2 bc	14.3 bc	0.69392 bcd	1.4 b	302.7 b
DMS	7.9793	17.227	0.2625	3.3397	595.57
CV	42.21	42.7	16.75	47	51.44

SCOMP= solución con todos los nutrientes; SN= solución sin nitrógeno; SP= solución sin fósforo; SK= solución sin potasio; SCa= solución sin calcio y SMg= solución sin magnesio; DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación en porcentaje. Medias con distinta letra en una misma columna son estadísticamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En el Cuadro 2, se distinguieron valores inferiores en número de hojas, altura de planta, diámetro del tallo, número de frutos y área foliar en las soluciones sin nitrógeno, sin calcio y sin magnesio. Se detectaron coeficientes de variación no muy altos en la mayoría de las variables. Garza-Alonso *et al.* (2019) detectaron el mismo comportamiento en las variables altura de planta y diámetro del tallo para los casos de las soluciones sin nitrógeno y sin calcio en otro cultivar de higuera. El Cuadro 3 muestra los promedios de concentraciones de macronutrientes obtenidas de las hojas de higuera *Ficus carica* cv. Neza y la prueba de comparación de medias de Tukey.

Cuadro 3. Concentraciones de macronutrientes en hoja de plantas de higuera *Ficus carica* cv. Neza.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
SCOMP	25.743 ab	2.01 b	7.439 bc	26.732 ab	4.7064 bc
SN	18.969 b	2.6244 ab	13.174 a	13.362 cd	2.8142 cd
SP	24.213 ab	1.7066 b	6.131 c	22.562 b	3.865 c
SK	31.44 a	3.6756 a	0.761 d	32.657 a	8.4498 a
SCa	23.642 ab	2.0668 b	10.432 ab	10.052 d	6.4608 ab
SMg	27.642 ab	2.9708 ab	13.007 a	19.087 bc	1.2752 d
DMS	11.095	1.488	3.934	8.95	2.536
CV	22.44	30.33	23.69	22.06	28.21

Los datos de la tabla están en g kg⁻¹; SCOMP= solución con todos los nutrientes; SN= solución sin nitrógeno; SP= solución sin fósforo; SK= solución sin potasio; SCa= solución sin calcio y SMg= solución sin magnesio; DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación en porcentaje. Medias con distinta letra en una misma columna son estadísticamente diferentes, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En el Cuadro 3 se detectó que la solución sin nitrógeno tiene un efecto antagónico con el potasio. Al eliminar el fósforo (SP), el comportamiento de los distintos macronutrientes fue similar al de la solución completa (SCOMP). Al eliminar el potasio (SK) se aumentó la absorción de fósforo por un efecto antagónico de estos iones y aumentó la concentración de calcio por un efecto sinérgico. Los efectos calcio-potasio y magnesio-calcio tienen una relación antagónica. Los mismos comportamientos coinciden con los reportados por Núñez-Escobar (2016).

Nitrógeno

En relación con la solución sin nitrógeno (SN), las variables número de hojas, altura de planta, diámetro del tallo número de frutos y área foliar se vieron afectadas (Figura 1A), ya que las plantas tuvieron crecimiento casi nulo, con escaso número de hojas, clorosis generalizada, follaje escaso, así como planta con aspecto raquítico y amarillento (Figura 1B).

Lo anterior, se pudo constatar tanto en el ANVA como en las pruebas de comparación de medias de Tukey donde se detectaron diferencias altamente significativas en las variables de crecimiento al compararlas con la solución completa (SCOMP) como se mostró en el Cuadro 2. En el análisis químico de tejido, se confirmó que el valor de contenido de N fue el menor, también se detectó diferencia significativa con el tratamiento sin potasio (SK) y no significativa con respecto al resto de los tratamientos (Cuadro 3).

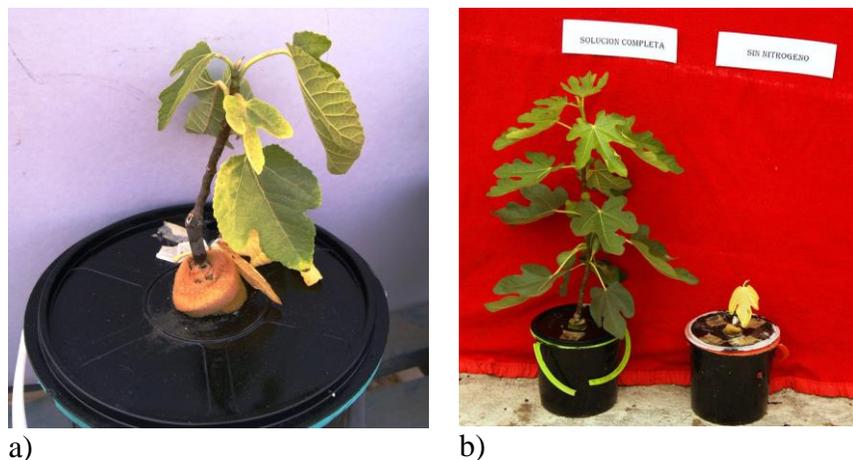


Figura 1. Sintomatología visual de la deficiencia de nitrógeno (SN), a) etapa inicial; b) etapa final y comparación con la solución completa.

Las plantas sometidas a la carencia de este elemento, después de un mes de iniciado el experimento, disminuyeron su ritmo de crecimiento (Figura 1a). Las hojas presentaron a los 15 días una coloración verde clara, acentuándose posteriormente la misma hasta convertirse en clorosis, los síntomas en la etapa final fueron evidentes en toda la planta, debido a la ausencia de este elemento las plantas presentaron menor número de hojas o ninguna hoja, detuvieron su crecimiento (Figura 1b).

Estos síntomas coincidieron con los observados por Rice (2007), el cual mencionó que, en condiciones de deficiencia de nitrógeno, las plantas presentan crecimiento lento, con un tamaño reducido, ramas finas en menor número y con tendencia al crecimiento vertical, menor número de hojas, que reduce el área foliar, clorosis generalizada y caída prematura de las hojas. Marschner (2012) reportó que, en varios cultivos, los síntomas iniciales y más severos se ven en las hojas más senescentes donde las proteínas se hidrolizan y el N se trasloca como aminoácido de los tejidos viejos a las porciones en crecimiento activo de la planta.

La proteólisis resulta en un colapso de los cloroplastos, con disminución en el contenido de clorofila y el amarillamiento de las hojas (Marschner, 2012). Este fenómeno podría haberse presentado en higuera, ya que los síntomas más severos se observaron en hojas más senescentes. Marschner (2012); Alcántar y Trejo (2012) explicaron que la deficiencia de N limita la división y expansión celular, así como el desarrollo de los cloroplastos, ya que altera procesos metabólicos en los cultivos, lo que produce plantas débiles, raquílicas, con crecimiento lento, que maduran precozmente y con rendimiento bajo. Lo cual concuerda con lo observado en este estudio ya que el estrés debido a la carencia de este macronutriente afectó significativamente todas las variables de crecimiento.

Fósforo

La relación de las variables de crecimiento en la solución sin fósforo (SP) se muestran en el Cuadro 2. En la prueba de Tukey no se detectaron diferencias con ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento sin fósforo (SP) y la solución completa (SCOMP). En relación con el contenido de 1.7 g kg^{-1} , la concentración

de fósforo se encuentra dentro del rango reportado por Raij *et al.* (1996) de 1-3 g kg⁻¹ pero no dentro de los de Malavolta (1997) que reportó un contenido de 1.2 a 1.6 g kg⁻¹, como se mostró en el Cuadro 1. En relación con la sintomatología visual, en la Figura 2b, se observó una ligera reducción del crecimiento a diferencia la que tenía la solución completa (SCOMP).

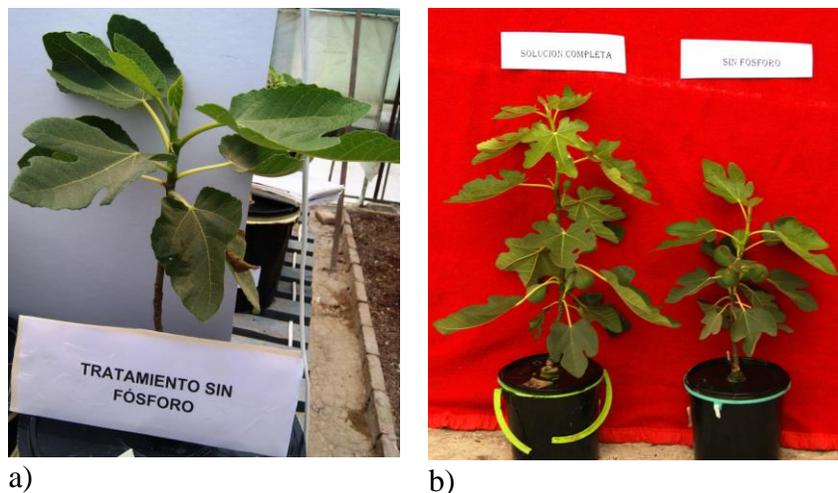


Figura 2. Sintomatología visual de la deficiencia de fósforo, a) etapa inicial; b) etapa final y comparación con la solución completa.

También, se detectaron en ambos tratamientos hojas con un verde de tonos similares. Con lo anterior, se puede inferir, que esta respuesta se debió a que las reservas de la planta fueron suficientes en el periodo evaluado de 90 días. Garza-Alonso *et al.* (2019) distinguieron algunas deficiencias en higueras de otro cultivar a los 120 días. Asimismo, en otros cultivos la deficiencia de fósforo es reportada por la presencia de antocianinas provocando en las hojas una coloración violeta (Fernández-Pavía *et al.*, 2015).

Potasio

En el ANVA (Cuadro 2) se distinguió que al menos una de las medias de un tratamiento fue diferentes. Al contrastar todos los valores de la solución sin potasio (SK) contra la solución completa (SCOMP) solo se apreciaron diferencias de medias en la prueba de Tukey en el área foliar, las demás fueron estadísticamente similares. La sintomatología visual de la deficiencia de potasio fue una de las últimas en evidenciarse, hasta el día 71 después de someterse al tratamiento sin Potasio (Figura 3). Se observó que en la etapa inicial las hojas mostraron enrollamiento de los márgenes hacia adentro y con necrosis en las hojas maduras.

La deficiencia de este elemento se manifestó en hojas adultas con áreas necróticas hacia la parte central de las hojas, en forma de 'V'. Salazar-García (2002) señaló que la curvatura de las hojas se debe a una respuesta de la planta para evitar la pérdida de agua y compensar el mal funcionamiento de las estomas. El potasio está involucrado en la fotosíntesis, ya que regula la apertura y cierre de las estomas y por lo tanto regula la absorción de CO₂ y desencadena la activación de enzimas y es esencial para la producción de adenosina trifosfato (ATP).

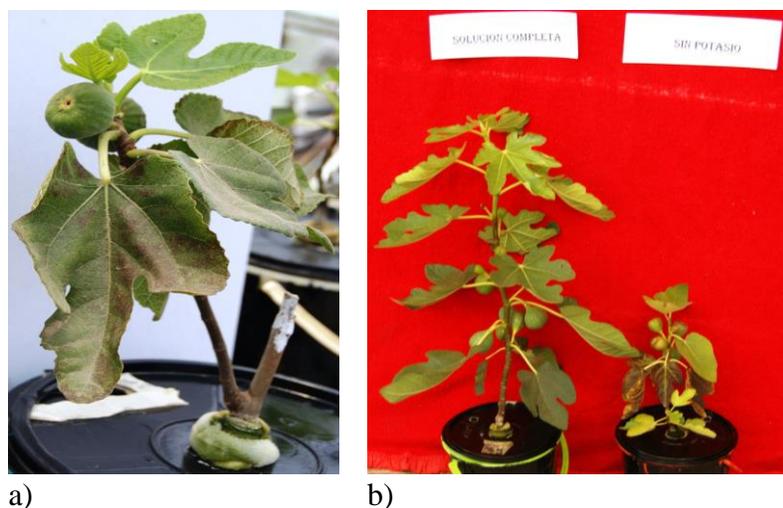


Figura 3. Sintomatología visual de la deficiencia de potasio, a) etapa inicial; b) etapa final y comparación con la solución completa.

El tratamiento sin potasio (SK) fue el que presentó el mayor contenido de calcio (32.657 g kg^{-1}) debido a su efecto antagónico con este ión, comparado con los demás tratamientos, y está dentro de los niveles reportados para el cultivo de higo (Cuadro 1). Los síntomas observados podrían estar relacionados con esta afectación fisiológica. Con respecto a la concentración encontrada en el análisis químico (Cuadro 3), se distinguieron diferencias significativas con las soluciones.

Rivera *et al.* (2017) y Leonel y Tecchio (2009) coincidieron en que los nutrientes requeridos en mayor cantidad por los frutos de la higuera son el nitrógeno y el potasio. En el tratamiento sin nitrógeno (SN) no hay frutos y en el de sin potasio (SK) si los hay de igual manera que los de la solución completa (SCOMP) pero se desconoce sobre la calidad del higo. Ramírez *et al.* (2009) mencionaron que la deficiencia de potasio eleva los valores de calcio, ya que compiten por los sitios de absorción en las raíces por lo que deficiencia de K puede acentuar la abundancia de Ca al igual que para N y P.

Calcio

En el ANVA y en las pruebas de comparación de medias de Tukey (Cuadro 2) se distinguieron diferencias altamente significativas entre la solución completa (SCOMP) y la solución sin calcio (SCa) en todas las variables de crecimiento. La deficiencia de calcio se muestra en la Figura 4. En la etapa inicial se detectó clorosis de los ápices y puntas de hojas jóvenes, deformación de las hojas generalmente en gancho hacia abajo y a menudo, clorosis en el nuevo crecimiento. En la etapa final, se asoció por una clorosis general, caída prematura de las hojas y una disminución del diámetro del tallo que fue similar a lo presentado en la solución sin nitrógeno (SN).

Lo obtenido coincidió con lo reportado por Marschner (2012), quien mencionó que las deficiencias de calcio se manifiestan, con una menor capacidad de síntesis de proteínas en las plantas, lo que influye en el menor desarrollo radical, clorosis marcada en hojas (principalmente jóvenes) y poco crecimiento de los tallos y las hojas. Asimismo, la sintomatología visual coincidió con lo reportado por Epstein y Bloom (2016) para otros cultivos donde las lesiones amarillo-blanquecinas aumentan su tamaño, y en caso de deficiencia muy grave, las hojas nuevas mueren en cuanto aparezcan.

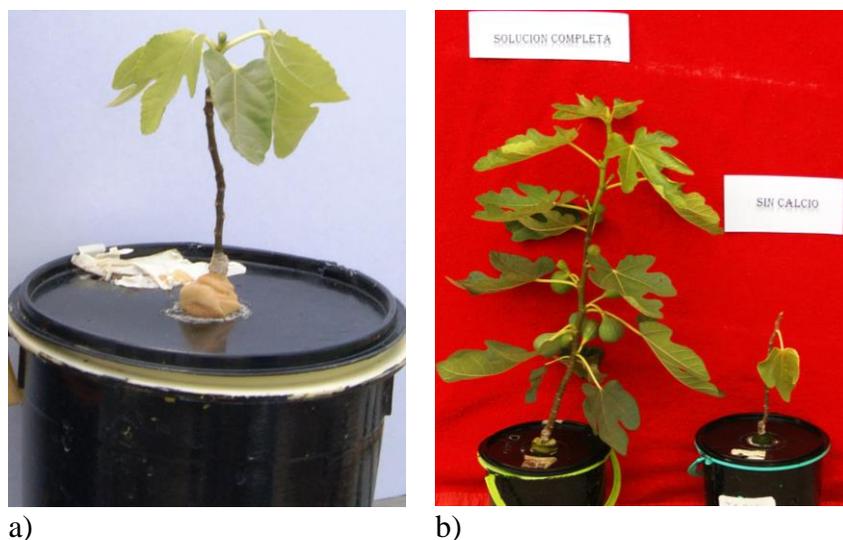


Figura 4. Sintomatología visual de la deficiencia de calcio, a) etapa inicial; b) etapa final y comparación con la solución completa.

Magnesio

La solución sin magnesio (SMg) presentó valores inferiores que los obtenidos con respecto a la solución completa (SCOMP) para los valores de altura, número de frutos y el área foliar. En el ANVA y en las pruebas de Tukey las diferencias fueron altamente significativas (Cuadro 2). En la concentración en tejido foliar, se observó que hay diferencias estadísticas altamente significativas con respecto al tratamiento sin K (Cuadro 3).

Con base a la sintomatología visual (Figura 5), en la etapa inicial se detectó un color amarillento entre las nervaduras siendo las hojas maduras las afectadas, en la etapa final la altura de la planta es distinta y el comportamiento mostrado en la etapa inicial es muy notorio hasta la caída de hojas.

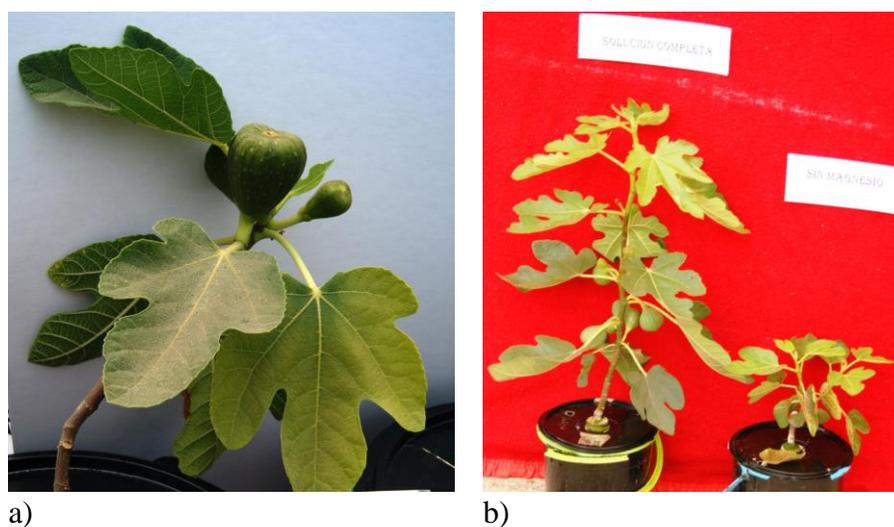


Figura 5. Sintomatología visual de la deficiencia de magnesio, a) etapa inicial; b) etapa final y comparación con la solución completa.

En un estudio realizado por Leonel y Tecchio (2009), al evaluar el contenido de nutrientes en hojas y frutos del cultivar Roxo de Valinhos, concluyeron que no hubo limitación de nutrientes para el crecimiento y producción de este frutal; no obstante, que el contenido de Mg estuvo por debajo del nivel recomendado por Raij *et al.* (1996, en Leonel y Costa, 2011).

Conclusiones

El objetivo en esta investigación se cumplió. La hipótesis propuesta no se rechaza porque la técnica empleada bajo condiciones de hidroponía permitió detectar deficiencias nutrimentales en plantas de higuera *Ficus carica* cv. Neza. Se destacó que en las variables de crecimiento en el tratamiento sin fósforo (SP) no hay diferencias significativas con respecto a la solución completa (SCOMP), en otros nutrimentos N, P, K, Ca y Mg si se detectaron diferencias tanto de valores estadísticos como de manera visual.

La información sobre contenido de N, P, K, Ca y Mg en el tejido foliar servirá como referencia a productores para poder corregir deficiencias nutrimentales de estos elementos en el cultivo de higuera *Ficus carica* cv. Neza. El rigor de esta investigación -en cuanto a fundamentación teórica, proceso de elaboración, análisis químico del tejido y las pruebas estadísticas- hacen sostenible la propuesta en el tiempo. Esta experiencia es transferible a otros cultivos o a otros frutales en contextos similares al de este experimento induciendo el estrés nutrimental bajo condiciones de invernadero.

Literatura citada

- Alcántar, G. y Trejo, L. I. 2012. Nutrición de cultivos. Editorial. BBA-Colegio de Postgraduados. México, DF. 454 p.
- AOAC International (AOAC). 1995. Official methods of analysis of AOAC international. Volume I. Official method 923.01. 16th (Ed.). Virginia, USA. AOAC International.
- Epstein, E. and Bloom, A. J. 2016. Nutrición mineral de plantas principios y perspectivas 2^{da} (Ed.). Cary, NC USA: Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press. 380 p.
- FAOSTAT. FAO. 2018. Statistical Databases. FAO Statistical Databases. Cultivos. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- Fernández-Pavía, Y. L.; Colinas-León, M. T. B.; Castro-Brindis, R.; Roque, T. R. and Baca-Castillo, G. 2012. Effect of nutrimental stress on the pigment content of the heliophytic poinsettia. *J. Agric. Sci. Technol.* 2(6):833-839.
- Fernández-Pavía, Y. L.; García-Cué, J.; López-Jiménez, A. y Mora-Aguilera, G. 2015. Inducción de deficiencias nutrimentales en nopal verdura *Opuntia ficus indica* (L.) *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(6):1417-1422.
- Garza-Alonso, C. A.; Olivares-Sáenz, E.; Gutiérrez-Díez, A.; Vázquez-Alvarado, R. and López-Jiménez, A. 2019. Visual symptoms, vegetative growth, and mineral concentration in fig tree (*Ficus carica* L.) under macronutrient deficiencies. *Agronomy.* 9(12):1-12. Doi:10.3390/agronomy9120787.
- Hashemi, S.A. and Abediankenari, S. 2013. Suppressive effect of fig (*Ficus carica*) latex on esophageal cancer cell proliferation. *Acta Facultatis Medicae Naissensis.* 30(2):93-96.
- Leonel, S. and Tecchio, M. A. 2009. The nutritional levels in leaves and fruits of fig trees as a function of pruning time and irrigation. *Ciências Agrárias.* 30(2):347-360.

- Leonel, S. y Costa A. S. 2011. Manejo nutricional de la figueira. *In*: Leonel y Costa (Coord.). São Pablo, Brasil. UNESP. 398 p.
- Lev-Yadun, S.; Ne'eman, G.; Shahal, A. and Flaishman, M. 2007. Comment on "early domesticated fig in the Jordan Valley. *Science* (New York, N.Y.). 314(5806):1683. Doi: 10.1126/science.1132636.
- López-Corrales, M.; Gil-Torrvalvo, M.; Pérez Gragera, F.; Cortés Prieto, J.; Serradilla-Sánchez, M. y Chromé-Fuster, P. M. 2011. Variedades de higuera. Descripción y registro de variedades. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. 41 p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C. e De Oliveira, S. A. 1997. Metodología para el análisis de elementos em material vegetal ed. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. da. Piracicaba, Brasil: POTAFOS. 2 312 p.
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition, yield and source-sink relationships. Mineral nutrition of higher plants. 3rd (Ed.). Londres, Inglaterra. Academic Press. Elsevier. 672 p
- Mendoza-Castillo, V. M.; Vargas-Canales, J. M.; Calderón-Zavala, G.; Mendoza-Castillo, M.C. and Santacruz-Varela, A. 2017. Intensive production systems of FIG (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. *Expl. Agric.* 53(3):339-350.
- Muñoz-Villalobos, J. A.; Palomo-Rodríguez, M.; Macías-Rodríguez, H.; Rivera-González, M. y Esquivel-Arriega, G. 2015. Dinámica del crecimiento fenológico de higuera (*Ficus carica* L.) con altas densidades de plantación en macro-tuneles. *AGROFAZ.* 15(2):133-141.
- Núñez-Escobar, R. 2016. El suelo como medio natural en la nutrición de cultivos. En *Nutrición de cultivos*. Alcántar, G.; Trejo, L. y Gómez, F. (Ed.). Fundación Colegio de Postgraduados. México, DF. 105-144 pp.
- Raij, B. V.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. y Furlani, A. M. C. 1996. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo 2^{da}. (Ed.) Campinas. Instituto Agronômico. Boletim Técnico 100. Sao Paulo, Brasil. 121-130 pp.
- Ramírez, M. M.; Trejo-Téllez, L. I.; Gómez-Merino, F. C. y Sánchez, G. P. 2009. La relación K⁺/Ca²⁺ de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán *Rev. Fitotec. Mex.* 33(2):149-156.
- Rice, R. W. 2007. The physiological role of minerals in the plant. *In*: Datnoff, L. E.; Elmer, W. H. and Huber, D. M. (Eds.). Mineral nutrition and plant disease. Minnesota, US. APS Press, St. Paul, MI. 9-29 pp.
- Rivera, G.; Delgado R.; Muñoz V.; Macías R. y Jacobo, S. R. 2017. Respuesta de la higuera a la aplicación de nitrógeno y potasio en riego por goteo y alta población en la Región Lagunera *AGROFAZ.* 17(2):39-44.
- SAGARPA. 2018. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de la producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola>.
- Salazar-García S. 2002. Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Instituto de la Potasa y el Fósforo, AC. (INPOFOS). México, DF. 165 p.
- Simão, S. 1998. Ecología. Tratado de fruticultura. FEALQ. Piracicaba. Brasil. Embrapa Florestas (CNPq). 760 p.
- Steiner, A. A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil.* 24(3):54-466. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-007-1374-0_52.pdf.