

Salinidad y silicio en el crecimiento vegetativo y la concentración de pigmentos en cuatro cultivares de higuera (*Ficus carica* L.)

Carlos Alberto Garza-Alonso¹, Fernando de Jesús Carballo-Méndez^{1,*}, Pablo Alán Rodríguez-Salinas¹, Emilio Olivares-Sáenz¹ y Juan Carlos Rodríguez-Ortiz²

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Av. Francisco Villa S/N, col. Ex Hacienda el Canadá, 66050 General Escobedo, Nuevo León, México

² Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Carretera San Luis – Matehuala Km. 14,5, Ejido Palma de la Cruz, 78321 Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., México

Resumen

La higuera (*Ficus carica* L.) es una planta mediterránea apreciada por sus frutos de alta calidad organoléptica y elevado valor comercial, los cuales son ricos en nutrientes y compuestos antioxidantes. La salinidad es uno de los principales factores que afectan a la producción de cultivos, sin embargo, la aplicación de silicio ha mostrado tener efectos positivos en plantas sometidas a salinidad. Por ello, en el presente trabajo se estudiaron los efectos de la salinidad y el silicio en el crecimiento vegetativo y la concentración de pigmentos en hojas de cuatro cultivares de higuera: 'Brown Turkey', 'Kadota', 'Black Mission' y 'Adriatic'. A dichas plantas se les aplicó diariamente una solución de 50 mg L⁻¹ de silicio en fase de propagación. Posteriormente, en la fase de crecimiento, las plantas fueron sometidas a aplicaciones foliares de una solución de 50 mg L⁻¹ de silicio y regadas con soluciones salinas de 1 dS m⁻¹, 5 dS m⁻¹ y 10 dS m⁻¹. Los cultivares de higuera mostraron diferencias en brotación, enraizamiento y crecimiento general de las plantas. La salinidad afectó de forma negativa el crecimiento de las plantas, mientras que el silicio favoreció el crecimiento y el incremento en la concentración de pigmentos fotosintéticos. Una conductividad eléctrica igual o menor a 5 dS m⁻¹ no representa problemas para el crecimiento inicial de este frutal, mientras que la aplicación de silicio mostró efectos benéficos independientemente del cultivar y la conductividad eléctrica, especialmente cuando se aplicó mediante el riego en la fase de propagación.

Palabras clave: Cloruro de sodio, dióxido de silicio, nutrición vegetal, propagación vegetativa.

Salinity and silicon in vegetative growth and pigment concentration in four fig cultivars (*Ficus carica* L.)

Abstract

The fig tree (*Ficus carica* L.) is a Mediterranean plant appreciated for its high organoleptic quality fruits and high commercial value, which are rich in nutrients and antioxidant compounds. Salinity is one of the main factors affecting crop production, however, the application of silicon has shown positive effects

* Autor para correspondencia: ing.fercarballo@gmail.com

on plants subjected to salinity. In this work the effects of salinity and silicon were evaluated on vegetative growth and leaf pigment concentration of four fig cultivars: 'Brown Turkey', 'Kadota', 'Black Mission' and 'Adriatic'. These plants were treated daily with a solution of 50 mg L⁻¹ of silicon in the propagation phase. Subsequently, in the growth phase, the plants were subjected to foliar applications of a solution of 50 mg L⁻¹ of silicon and irrigated with saline solutions of 1 dS m⁻¹, 5 dS m⁻¹ and 10 dS m⁻¹. Fig varieties varied in budding, rooting and overall plant growth. Salinity negatively affected plant growth, while silicon favored growth and increased concentration of photosynthetic pigments. An electrical conductivity equal to or less than 5 dS m⁻¹ did not pose problems for the initial growth of this fruit, while the application of silicon showed beneficial effects regardless of cultivar and electrical conductivity, especially when applied by irrigation in the propagation phase.

Keywords: Sodium chloride, silicon dioxide, plant nutrition, vegetative propagation.

Introducción

La higuera (*Ficus carica* L.) es una planta mediterránea mundialmente utilizada principalmente por sus frutos de alta calidad organoléptica y elevado valor comercial (USDA, 2020), los cuales son ricos en azúcares, vitaminas y minerales como el fósforo, potasio y calcio (Crisosto *et al.*, 2010), así como altos niveles de compuestos antioxidantes (Harzallah *et al.*, 2016). Otras partes vegetativas como las hojas y tallos también se utilizan debido a que recientes investigaciones han reportado la capacidad de disminución del azúcar en la sangre (Deepa *et al.*, 2018) y propiedades anticancerígenas (Badgujar *et al.*, 2014).

Debido a lo anterior, existe un creciente interés en distintos países por el cultivo de la higuera. A nivel mundial, los primeros lugares en producción de higo son ocupados por algunos países mediterráneos como Marruecos, Turquía, Egipto y Argelia (FAO, 2020). Sin embargo, en varios países latinoamericanos este cultivo ha cobrado importancia en los últimos años, específicamente en México donde se muestra una tendencia al alza, con una tasa de crecimiento anual promedio de 6 % para la superficie cosechada y de un 13 % en el volumen de producción (SIAP, 2020). La superficie cosechada en México en el año 2018 fue de 1.440 ha, con un rendimiento promedio de 6,5 t ha⁻¹, donde los estados con mayor superficie sembrada fueron Morelos, Baja Cali-

fornia Sur y Veracruz, con 772 ha, 302 ha y 135 ha, respectivamente (SIAP, 2020).

Diversos problemas ambientales que afectan directamente a los cultivos se han incrementado, entre ellos la salinidad del suelo y del agua. La higuera soporta niveles de salinidad de hasta 5,5 dS m⁻¹ (Agustí, 2010). Sin embargo, en algunas regiones del mundo se encuentran cantidades de sal superiores tanto en el suelo y en el agua, lo cual afecta el crecimiento y desarrollo del cultivo, principalmente en la etapa de propagación vegetativa y crecimiento inicial. Recientemente se han estudiado los efectos benéficos del silicio (Si) sobre el desarrollo de las plantas, principalmente en la reducción del estrés por distintos factores, como ataque de plagas y enfermedades, estrés hídrico, estrés salino y toxicidad por metales pesados (Servaz y Raymond, 2015). Los efectos benéficos del Si se atribuyen a distintos mecanismos fisiológicos como el incremento del sistema antioxidante, modificaciones en el intercambio gaseoso y reducción del estrés osmótico (Rizwan *et al.*, 2015). El efecto positivo del Si en plantas sometidas a estrés salino ha sido atribuido a la reducción en la absorción de Na, regulación en el intercambio gaseoso, incremento de la actividad antioxidante, reducción de la permeabilidad de las membranas celulares, entre otros mecanismos (Liang *et al.*, 2006). Los efectos de altos contenidos de sales en el suelo y agua de riego sobre el crecimiento de

las plantas han sido ampliamente estudiadas. Sin embargo, en el cultivo de la higuera se ha realizado poca investigación, particularmente en el tema de propagación y crecimiento inicial. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la salinidad y el Si sobre el crecimiento vegetativo y la concentración de pigmentos fotosintéticos en las hojas en cuatro cultivares de higuera.

Material y métodos

Ubicación del experimento y material vegetal

La investigación se realizó en un invernadero tipo español (altura de 3 m, techo plano, con cubierta de plástico), ubicado en el Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cual se encuentra en las coordenadas 25° 45' latitud norte y 100° 17' longitud oeste, a una altitud de 427 m s.n.m., en General Escobedo, Nuevo León, México. Las condiciones ambientales promedio dentro del invernadero fueron 25 °C de temperatura y 70 % humedad relativa. Cuatro cultivares de higuera (*Ficus carica* L.): 'Brown Turkey', 'Kadota', 'Black Mission' y 'Adriatic' fueron evaluadas en dos fases.

Fase de propagación

En la fase de propagación se evaluó el enraizamiento y la brotación de estacas de los cuatro cultivares con dos niveles de Si en el agua de riego. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 4 × 2: cuatro cultivares y dos soluciones de riego (agua baja en sales sin y con Si). Los ocho tratamientos fueron evaluados con seis repeticiones. En cada repetición, la unidad experimental consistió en 10 estacas de 20 cm

de largo (cinco entrenudos), las cuales fueron obtenidas de plantas de un año de edad cultivadas en el mismo lugar donde se realizó el experimento. Dichas estacas fueron distribuidas al azar en charolas forestales de poliestireno de 50 cavidades con un volumen de 100 mL, cada una rellena con perlita. Cada charola contenía cuatro repeticiones de tratamientos distintos. Las estacas fueron regadas diariamente de acuerdo con el tratamiento correspondiente de Si (0 o 50 mg L⁻¹). La fuente de Si utilizada fue dióxido de silicio (SiO₂). Las características químicas del agua eran: Ca: 3,5 mEq L⁻¹; Mg: 1,8 mEq L⁻¹; Na: 0,9 mEq L⁻¹; HCO₃: 2,5 mEq L⁻¹; Cl: 1,35 mEq L⁻¹; SO₄: 2,35 mEq L⁻¹; HCO₃: 2,5 mEq L⁻¹; pH: 7,51 y conductividad eléctrica (CE): 0,62 dS m⁻¹.

Las variables de enraizamiento y brotación fueron evaluadas en las 10 plántulas de cada unidad experimental y el promedio de las 10 plantas se utilizó para realizar los análisis estadísticos; mientras que las variables de crecimiento fueron evaluadas en 2 plántulas de cada unidad experimental.

A los 30 días y 60 días después del establecimiento se contabilizaron las estacas que presentaron brotación (estacas con al menos una hoja completamente extendida), reportado como brotación 1 (30 días) y brotación 2 (60 días). A los 60 días también se contabilizaron las estacas que produjeron raíces (estacas con al menos una raíz de 1 cm de longitud). Los resultados de dichas variables fueron expresados en porcentaje (%).

Por otro lado, a los 60 días después del establecimiento se evaluó la longitud de brote en dos plantas de cada unidad experimental, considerando el brote más largo, midiendo desde la base hasta el punto de crecimiento; también se registró el número de hojas considerando las hojas completamente expandidas; además se obtuvo el área foliar (cm²) considerando la anchura máxima de todas las hojas de la planta y se estimó el área utili-

zando el modelo de regresión propuesto por Giaccone *et al.* (2017) para el cultivo de higuera. El contenido relativo de clorofila, expresado en unidades SPAD, se midió utilizando el medidor portátil SPAD-502 de Minolta (Konica Minolta, Osaka, Japón). Las unidades SPAD se estimaron en el lóbulo medio de las hojas número 3, 4 y 5 del ápice a la base. El peso seco se obtuvo mediante un horno de secado (Yamato modelo DX602C, Yamato Scientific America, Santa Clara, CA, USA) donde las muestras fueron sometidas a una temperatura de 60 °C durante tres días. El material resultante se pesó con balanza analítica con precisión 0,001 g.

Fase de crecimiento

Para la fase de crecimiento se seleccionaron cinco plantas de cada cultivar, obtenidas en la fase de propagación, considerando el criterio de uniformidad y vigor. Cada trata-

amiento de dicha fase fue utilizado para evaluar Si foliar (dos niveles) y salinidad (tres niveles de CE). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con arreglo factorial $4 \times 4 \times 3$: 4 cultivares; 4 combinaciones de Si: dos niveles de Si (fase de propagación) y dos niveles de Si foliar (fase de crecimiento) siendo el dióxido de silicio (SiO_2) la fuente de Si utilizada, y tres niveles de CE (1 dS m^{-1} , 5 dS m^{-1} y 10 dS m^{-1} , ajustados con NaCl). Cada tratamiento fue evaluado en cinco repeticiones, con una planta como unidad experimental. La aplicación de Si foliar se realizó semanalmente en un período de ocho semanas, en el mismo periodo, las plantas fueron regadas con el agua antes descrita. A las plantas sin el tratamiento de Si foliar se les aplicó agua destilada. Después del periodo de aplicación foliar, a cada grupo se le regó con solución con CE de 1 dS m^{-1} , 5 dS m^{-1} o 10 dS m^{-1} durante 15 días (Figura 1).

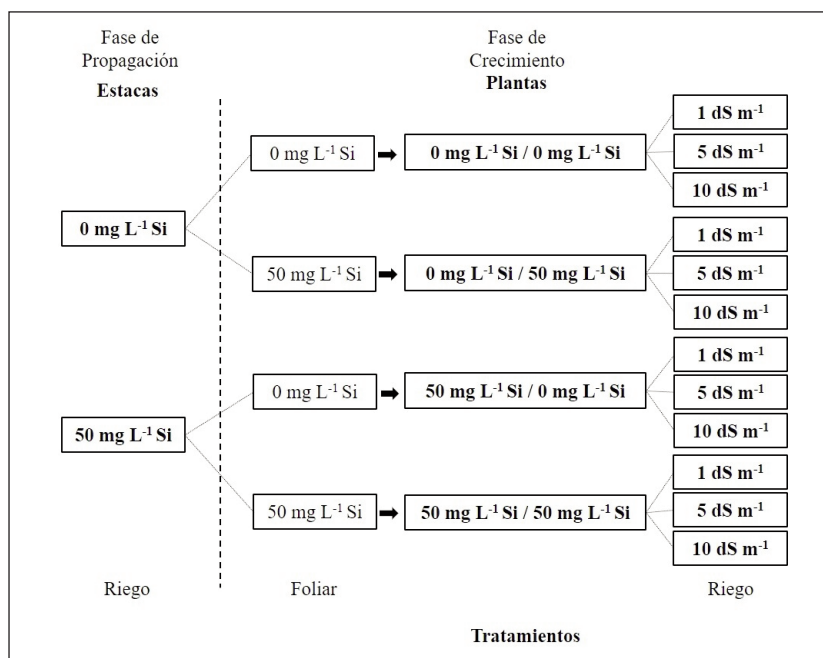


Figura 1. Esquema de los tratamientos en cada fase del experimento.

Figure 1. Schematization of treatments in each phase of the experiment.

A los 5, 10 y 15 días después del inicio del estrés salino, se midió el contenido relativo de clorofila en las hojas. Así mismo, después de la última medición se colectaron muestras de 3 plantas por tratamiento para la determinación de peso seco de tallos nuevos y hojas, además de las clorofilas (a y b) y carotenoides totales (xantofilas y carotenos). La extracción de los pigmentos fotosintéticos se realizó con base a la metodología reportada por Marr et al. (1995); para la extracción, se consideraron las hojas más recientemente maduras, hojas número 3, 4 y 5 del ápice a la base, que se mezclaron. Se pesaron 5 g de la hoja fresca en un mini vaso de cristal Oster, en el cual se agregaron 50 mL de acetona al 80 % y 200 mg de Na_2CO_3 . La muestra se licuó durante 30 s en una licuadora Oster (M4655-813/465-42, Sunbeam, Ciudad de México, México). Después, el producto resultante se filtró con tela de organza para separar la materia insoluble y se colocó en tubos Corning de 50 mL para centrifugar a 5750 rpm (25 °C, 5 min). Finalmente, el sobrenadante se recolectó y almacenó a -20 °C protegidos de la luz hasta su posterior análisis.

Los análisis de los extractos fotosintéticos se realizaron en un espectrofotómetro SP-830 Plus (Barnstead, Turner, EUA) a longitudes de onda de 663 nm, 647 nm y 470 nm, para determinar clorofila a, b y carotenoides, respectivamente. La concentración de los pigmentos se expresó en miligramos por gramo de hoja fresca (mg g^{-1}) y calculó mediante la ecuación de Lichtenthaler (1987):

$$\text{Chl}_a = 12,25A_{663} - 2,79A_{647}$$

$$\text{Chl}_b = 21,50A_{647} - 5,10A_{663}$$

$$\text{Carotenoides} =$$

$$(1000A_{470} - 1,82 \text{ Chl}_a - 85,02 \text{ Chl}_b)/198$$

Para cumplir con los requisitos de normalidad, los valores porcentuales fueron transformados mediante arcoseno. Los valores de cada fase fueron sometidos a un análisis de varianza. En la primera fase se consideró el peso de la varetta como covariable y se ana-

lizaron los factores cultivar, silicio y su interacción. Mientras que en la segunda fase se consideraron como covariables el peso de la varetta para las variables de crecimiento y el contenido relativo de clorofila para las variables de pigmentos; en esta etapa se analizaron los factores cultivar, silicio, conductividad eléctrica y la interacción entre ellos. En las variables donde se encontró diferencia significativa se realizaron comparaciones de medias mediante la prueba de DMS ($P < 0,05$). Para dichos análisis se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 22,0, IBM.

Resultados y discusión

Fase de propagación

En la fase de propagación los análisis estadísticos mostraron diferencia significativa entre las cultivares y el Si para el porcentaje de brotación, enraizamiento y crecimiento vegetativo (Tabla 1).

En los muestreos de porcentaje de brotación, los porcentajes más altos fueron encontrados en el cultivar 'Brown Turkey', seguido de 'Kadota' y 'Black Mission' y por último el cultivar 'Adriatic'. En el porcentaje de enraizamiento se encontró una tendencia similar, donde el orden fue 'Brown Turkey' > 'Black Mission' = 'Kadota' > 'Adriatic'. En el caso del Si, se encontró diferencia significativa en la brotación 2, donde la adición de este elemento incrementó un 14 % el porcentaje de brotación, además del incremento del 28 % en el porcentaje de enraizamiento (Tabla 2).

La longitud de brote, número de hojas, área foliar y peso seco mostraron la misma tendencia observada en la brotación, donde los valores más altos se observaron en 'Brown Turkey', seguidos por 'Kadota', 'Black Mission' y 'Adriatic'. Sin embargo, el mayor contenido de unidades SPAD se encontró en 'Adriatic', mientras que los otros cultivares no tuvieron dife-

Tabla 1. Valores de F y niveles de significación (P) observados en los análisis de varianza para las variables de la fase de propagación.

Table 1. F values and significance levels (P) shown in the analysis of variance for the propagation phase variables.

| Variables/Factores | Cultivar (C) | Silicio (Si) | C x Si |
|--|--------------|--------------|--------|
| Brotación 1 | | | |
| F | 21,44 | 0,537 | 2,512 |
| P | <0,001 | 0,470 | 0,099 |
| Brotación 2 | | | |
| F | 20,419 | 8,519 | 0,258 |
| P | <0,001 | 0,006 | 0,855 |
| Enraizamiento | | | |
| F | 28,915 | 16,153 | 1,252 |
| P | <0,001 | <0,001 | 0,304 |
| Longitud de brote | | | |
| F | 27,352 | 4,206 | 2,284 |
| P | <0,001 | 0,043 | 0,083 |
| Número de hojas | | | |
| F | 37,902 | 5,225 | 0,474 |
| P | <0,001 | 0,024 | 0,701 |
| Área foliar | | | |
| F | 43,975 | 9,287 | 1,371 |
| P | <0,001 | 0,003 | 0,255 |
| Contenido relativo de clorofila | | | |
| F | 3,975 | 4,755 | 0,228 |
| P | 0,01 | 0,031 | 0,877 |
| Peso seco de hojas | | | |
| F | 16,184 | 11,076 | 2,56 |
| P | <0,001 | 0,010 | 0,059 |

Tabla 2. Efecto de los cultivares y el silicio en el crecimiento de estacas de higuera.
 Table 2. Effect of cultivars and silicon on growth of fig cuttings (propagation phase).

| | Brotación 1 (%) | Brotación 2 (%) | Enraizamiento (%) | Longitud de brote (cm) | Número de hojas | Área foliar (cm ²) | Contenido relativo de clorofila | Peso seco de hojas (g) |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Cultivares | | | | | | | | |
| Brown Turkey | 45,44 a | 81,10 a | 80,37 a | 8,06 a | 9,21 a | 312,65 a | 33,93 b | 1,02 a |
| Kadota | 26,78 b | 66,79 b | 56,05 b | 4,65 b | 6,04 b | 234,40 a | 33,01 b | 0,69 ab |
| Black Mission | 19,04 c | 66,16 b | 56,38 b | 4,34 bc | 6,30 b | 216,62 b | 33,36 b | 0,70 b |
| Adriatic | 19,04 c | 56,88 c | 40,58 c | 3,12 c | 5,00 c | 96,46 c | 37,05 a | 0,55 c |
| Silicio | | | | | | | | |
| 0 mg L ⁻¹ | 26,68 a | 62,05 b | 51,09 b | 4,57 b | 6,26 b | 194,37 b | 33,45 b | 0,65 b |
| 50 mg L ⁻¹ | 31,61 a | 70,91 a | 65,59 a | 5,51 a | 7,02 a | 235,69 a | 35,23 a | 0,83 a |

Letras diferentes entre cada columna indican diferencia estadística significativa (DMS, $P < 0,05$).

rencias estadísticas entre ellos. Por otro lado, el Si incrementó los valores en todas las variables estudiadas, donde la longitud de brote, número de hojas, área foliar, SPAD y peso seco aumentaron en un 21 %, 12 %, 21 %, 5 % y 28 %, respectivamente, en comparación con las plantas que no tuvieron aplicación de Si (Tabla 2). Es llamativo como la variedad 'Brown Turkey' dio valores significativamente más elevados para todos los parámetros estudiados, excepto para el contenido relativo en clorofila, donde mostró el valor más bajo.

Los resultados encontrados en la presente investigación coinciden con lo reportado por Pipattanawong *et al.* (2008), quienes encontraron mayores porcentajes de brotación y enraizamiento en higueras del cultivar 'Brown Turkey' en comparación con los cultivares 'Dauphine' y 'Lisa', los cuales comparten características similares a los evaluados en el presente trabajo. Estas diferencias también han sido documentadas en otros cultivares de higuera, donde Aljane y Nahdi (2014) observaron que el cultivar 'Rogabi' y 'Jemaoui' obtuvieron un mayor porcentaje de enraizamiento que 'Zidi', 'Bayoudhi' y 'Bouharrag', sin embargo, los dos últimos presentaron el mayor porcentaje de brotación, número de hojas, largo y diámetro del tallo. Por otro lado, Pakyürek y Dumano lu (2019) estudiaron porcentajes de germinación de semillas en ocho cultivares de higuera, donde las cultivares 'Sultan Selim' y 'Morgüz' presentaron los valores más altos (98 % y 97 %), mientras que 'Sarilop' resultó con el menor porcentaje (83 %). Este último cultivar tiene gran similitud genética con el cultivar 'Adriatic'.

En otra investigación, Salimpour *et al.* (2019) encontraron mayor crecimiento vegetativo en los cultivares 'Atabaki' y 'Mati', los cuales comparten similitud morfológica con 'Brown Turkey'. Dichos cultivares obtuvieron un mayor largo y diámetro del tallo, número de hojas y área foliar entre siete cultivares estudiados. Por otra parte, Metwali *et al.* (2014)

realizaron una investigación similar, donde se encontró que 'Brown Turkey' y 'Black Mission' tuvieron un mayor crecimiento vegetativo general en contraste con 'Brunswick'. Ambos trabajos coinciden con lo encontrado en la presente investigación.

En otros trabajos se ha demostrado que la aplicación de Si ha incrementado el volumen y alargamiento de las raíces. Dicho efecto ha sido atribuido a la extensibilidad de la pared celular en la zona de crecimiento de las raíces, provocada por la presencia del Si, lo que acelera el proceso de enraizamiento (Kafi y Rahimi, 2011).

Fase de crecimiento

En la fase de crecimiento el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas en los efectos principales, y en las interacciones cultivar \times Si y cultivar \times Si \times CE, en algunas variables (Tabla 3).

Las cultivares de higuera mostraron diferencias estadísticas significativa en los niveles de CE para el peso seco del tallo y hojas. La CE de 10 dS m⁻¹ redujo en 33 % y 13 % el peso seco de tallos y hojas, respectivamente (Figura 2A). En ambas variables la interacción cultivar \times Si fue significativa. El peso seco de tallo de los cultivares 'Kadota' fue incrementado por los tratamientos con Si, en promedio, 57 % comparado con el tratamiento sin Si. En el cultivar 'Adriatic' el tratamiento 50 mg L⁻¹/50 mg L⁻¹ lo incrementó en 46 %, mientras que en los otros dos cultivares no se observaron incrementos significativos (Figura 2B). El peso seco de las hojas del cultivar 'Brown Turkey' fue beneficiado por el Si aplicado en la fase de propagación, incrementado esta variable en 37 %, mientras que para 'Kadota' los tratamientos con Si, incrementaron, en general, 56 % el peso seco de hojas; en los otros dos cultivares, sin embargo, no se observaron diferencias significativas (Figura 2C).

El efecto de la salinidad en las plantas ha sido ampliamente documentado. La acumulación de Na⁺ y Cl⁻ en los cloroplastos está asociada con la reducción de las actividades de transporte de electrones en el proceso fotosintético ocasionando una reducción en el crecimiento (Nouman et al., 2018). En plantas de tomate, Li et al. (2015) reportaron una menor ganancia de materia seca al incrementar los niveles de sales, mientras que en otra investigación se observó el mismo efecto en plantas de *Ocimum basilicum* L. (Robotjazi et al., 2020).

En el cultivo de la higuera, Metwali et al. (2014) encontraron una disminución del peso seco al incrementar los niveles de salinidad, sin importar el cultivar estudiado. Dicho efecto también fue reportado por Zarei et al. (2016) al probar cuatro cultivares de higuera con diferentes niveles de salinidad, donde las altas concentraciones de sales afectaron de forma negativa la ganancia de materia seca en todos los cultivares. En otra investigación realizada por Soliman y Alhady (2017), fue observada la misma tendencia en cinco cultivares de higuera. Los trabajos mencionados previamente coinciden con lo encontrado en esta investigación, donde se reportó que los mayores efectos negativos sobre el crecimiento vegetativo ocurren al sobrepasar una salinidad de 5 dS m⁻¹ (o su equivalente en otras unidades), tal y como lo reportó Agustí (2010), quien menciona que la higuera tolera una salinidad de hasta 5,5 dS m⁻¹, lo cual se considera una tolerancia media a la salinidad, tal y como fue clasificada por Niu et al. (2019), quienes ubicaron a esta planta en el grupo de plantas moderadamente tolerantes.

Actualmente, los estudios del efecto del Si sobre el crecimiento vegetativo de la higuera son muy escasos, sin embargo, los resultados encontrados en esta investigación coinciden con lo observado en otras plantas. Rangathan et al. (2006) reportaron que la aplicación de Si duplicó el peso seco de hojas y tallos en plantas de arroz, lo cual también fue obser-

Tabla 3. Valores de F (F) y niveles de significancia (P) observados en los análisis de varianza para las variables de crecimiento.

Table 3. F values (F) and significant levels (P) shown in the analysis of variance for the variables of growth.

| Variables/Factores | Cultivar (C) | Silicio (Si) | Conductividad Eléctrica (CE) | CxSi | CxCE | Si x CE | CxSi x CE |
|--|--------------|--------------|------------------------------|--------|-------|---------|-----------|
| Peso Seco de tallos | | | | | | | |
| F | 9,103 | 6,006 | 32,29 | 2,386 | 0,806 | 0,427 | 1,177 |
| P | <0,001 | 0,001 | <0,001 | 0,018 | 0,568 | 0,859 | 0,297 |
| Peso Seco de hojas | | | | | | | |
| F | 20,868 | 7,268 | 5,475 | 4,05 | 1,533 | 1,861 | 1,603 |
| P | <0,001 | <0,001 | 0,006 | <0,001 | 0,176 | 0,096 | 0,075 |
| Contenido Relativo de Clorofila 5 días | | | | | | | |
| F | 0,45 | 4,417 | 0,75 | 0,698 | 0,628 | 0,737 | 0,657 |
| P | 0,987 | <0,001 | 0,475 | 0,71 | 0,707 | 0,621 | 0,844 |
| Contenido Relativo de Clorofila 10 días | | | | | | | |
| F | 0,505 | 6,412 | 0,561 | 0,509 | 0,337 | 0,364 | 0,661 |
| P | 0,68 | 0,001 | 0,572 | 0,864 | 0,916 | 0,9 | 0,84 |
| Contenido Relativo de Clorofila 15 días | | | | | | | |
| F | 0,769 | 10,465 | 10,217 | 1,027 | 1 | 1,706 | 1,09 |
| P | 0,514 | <0,001 | <0,001 | 0,424 | 0,431 | 0,128 | 0,375 |
| Clorofila a | | | | | | | |
| F | 2,799 | 60,71 | 5,115 | 3,186 | 0,778 | 1,281 | 2,518 |
| P | 0,044 | <0,001 | 0,008 | 0,002 | 0,589 | 0,274 | 0,002 |
| Clorofila b | | | | | | | |
| F | 5,375 | 60,271 | 4,509 | 3,108 | 0,497 | 1,154 | 1,921 |
| P | 0,002 | <0,001 | 0,014 | 0,003 | 0,809 | 0,338 | 0,023 |
| Carotenoides | | | | | | | |
| F | 4,815 | 34,539 | 1,822 | 2,169 | 0,869 | 1,837 | 2,207 |
| P | 0,004 | <0,001 | 0,167 | 0,031 | 0,521 | 0,1 | 0,008 |

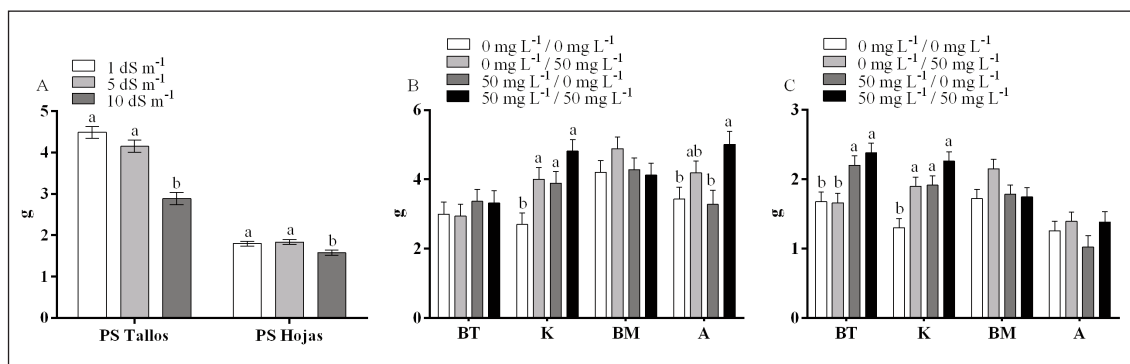


Figura 2. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) (A) en el peso seco de tallos y hojas, y de la interacción cultivar \times silicio (Si) en el peso seco de tallos (B) y hojas (C) en plantas de higuera. Las líneas sobre las barras representan el error estándar. Las letras diferentes en cada barra significan que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (DMS, $P < 0,05$). BT: 'Brown Turkey', K: 'Kadota', BM: 'Black Mission' y A: 'Adriatic'.

Figure 2. Effect of electrical conductivity (EC) (A) on dry weight of stems and leaves, and of cultivar \times silicon (Si) interaction on dry weight of stems (B) and leaves (C) in fig plants. Lines above the bars represent the standard error. Different letters in each bar mean that the treatments were statistically different (DMS, $P < 0.05$). BT: 'Brown Turkey', K: 'Kadota', BM: 'Black Mission' and A: 'Adriatic'.

vado en plantas de tomate (Haghighi y Pesarakli, 2013), soja (Hamayun et al., 2010) y trigo (Tuna et al., 2008). El incremento en el peso seco de los tejidos de las plantas se debe a que la aplicación de Si incrementa la tasa de fotosíntesis, como ha sido observado en distintas especies, lo cual favorece mayor acumulación de materia seca (Yan et al., 2020).

El incremento en la fotosíntesis de las plantas que han recibido una aplicación de Si se puede explicar debido a que este elemento mejora la estructura de los cloroplastos (Gengmao et al., 2015), además de que Garg y Bhandari (2015) reportaron incrementos en la actividad de la enzima RuBisCO, lo que incrementa la captación de CO_2 en condiciones de estrés por salinidad. Otro mecanismo que favorece el incremento en la tasa fotosintética es el depósito de Si en el tallo, incrementando la fuerza de este, mientras que los depósitos en las hojas mantienen la turgencia, favoreciendo la intercepción de la luz.

El contenido relativo de clorofila, expresado en unidades SPAD, no presentó diferencias significativas entre cultivares (Figura 3A). Para el caso del Si, a los 5 días de las aplicaciones, se encontró un aumento del 6 % en el tratamiento $50 \text{ mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$ con respecto al $0 \text{ mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$, mientras que en los demás no se observaron diferencias significativas. A los 10 días, fue observado el mismo comportamiento, con un incremento del 7 % en el tratamiento $50 \text{ mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$. Por último, a los 15 días, los tratamientos $50 \text{ mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$ y $50 \text{ mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$ registraron incrementos del 9 % y 7 %, respectivamente, en comparación a las plantas del tratamiento con nula aportación de silicio (Figura 3B). Los altos niveles de conductividad eléctrica afectaron de forma negativa el contenido de unidades SPAD en las plantas de higuera, independientemente de los cultivares estudiados. A los 5 días de iniciadas las aplicaciones, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin

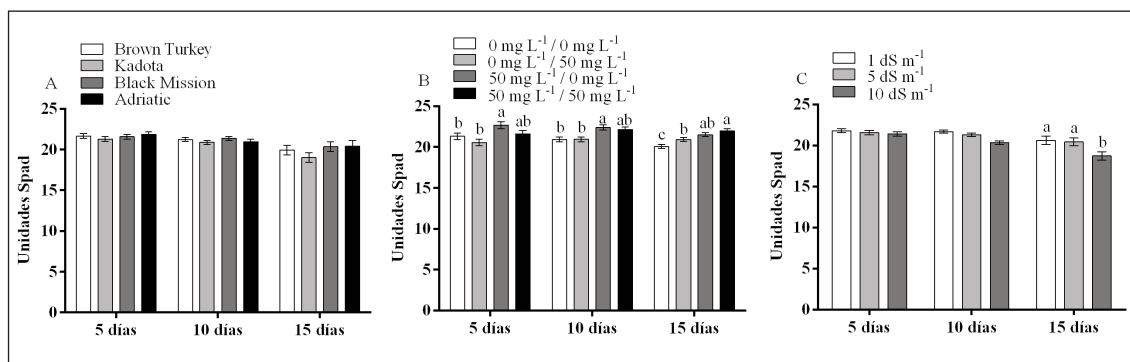


Figura 3. Efecto de los cultivares (A), Si (B) y conductividad eléctrica (CE) (C) en el contenido relativo de clorofila (SPAD) en hojas de higuera. Las líneas sobre las barras representan el error estándar. Las letras diferentes en cada barra significan que los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (DMS, $P < 0,05$).
 Figure 3. Effect of cultivars (A), Si (B), and electrical conductivity (EC) (C) on the relative content of chlorophyll (SPAD) (second stage). Lines above the bars represent the standard error. Different letters in each bar mean that the treatments were statistically different (DMS, $P < 0.05$).

embargo, para los 10 y 15 días, el análisis de varianza encontró diferencia significativa, donde el tratamiento de 10 dS m^{-1} registró los valores más bajos, con disminuciones del 6 % y 9 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento de menor contenido de sales (1 dS m^{-1}) (Figura 3C).

Los resultados encontrados en cuanto a unidades SPAD coinciden con lo observado en plantas de arroz por Ranganathan *et al.* (2006), donde dichas unidades se incrementaron en plantas con aplicación de Si. La misma tendencia fue reportada en plantas de tomate por Haghghi y Pessaraki (2013), quienes encontraron un incremento de SPAD al incrementar la dosis de Si. Dichos resultados coinciden con lo encontrado en esta investigación. En plantas de soja, las unidades SPAD disminuyeron en plantas tratadas con NaCl, en contraste con las plantas en ausencia de sal (Lee *et al.*, 2010), tal y como sucedió en el presente trabajo.

Las concentraciones de pigmentos fotosintéticos mostraron interacción entre el cultivar, Si y CE. En términos generales, se observó

una disminución en la concentración de los pigmentos provocada por el nivel alto de CE, dicha disminución fue contrarrestada por la presencia de Si. Los mayores valores en la concentración de clorofila a y clorofila b se mostraron en los tratamientos con Si. Los tratamientos con Si, aplicado en la fase de propagación, (50 $\text{mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$ y 50 $\text{mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$) mostraron las mayores concentraciones de clorofilas en los niveles bajo y medio de CE (1 dS m^{-1} y 5 dS m^{-1}), mientras que en el tratamiento sin Si y en CE alta (10 dS m^{-1}) fueron observadas las menores concentraciones de dichos pigmentos (Tabla 4-5).

La concentración de carotenoides mostró una tendencia similar al efecto de los tratamientos en la concentración de clorofilas (Tabla 6), particularmente el tratamiento 50 $\text{mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$, en las CE media y alta (5 dS m^{-1} y 10 dS m^{-1}) mostró mayores concentraciones de carotenoides para los cultivares 'Brown Turkey', 'Kadota' y 'Black Mission'; mientras que en el cultivar 'Adriatic' el máximo valor fue observado en el tratamiento 0 $\text{mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$ en la CE baja (1 dS m^{-1}). Al igual

Tabla 4. Efecto de la interacción entre cultivares, silicio (Si) y conductividad eléctrica (CE) en la concentración de clorofila a (mg g^{-1}) hojas de higuera.

Table 4. Effect of cultivar, silicon (Si) and electrical conductivity (EC) interaction on the content of chlorophyll a (mg g^{-1}) fig leaves.

| Si | 0 $\text{mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$ | | | 0 $\text{mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$ | | | 50 $\text{mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$ | | | 50 $\text{mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$ | | |
|---------------|--|----------|--------|---|---------|-----------|---|----------|----------|--|---------|----------|
| | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 |
| Brown Turkey | 1,36 e | 1,41 e | 1,41 e | 2,07 de | 1,85 e | 2,06 de | 3,52 abc | 2,79 cd | 3,31 bc | 4,37 a | 3,78 ab | 3,55 abc |
| Kadota | 2,51 cd | 1,43 ef | 0,88 f | 1,87 de | 2,31 cd | 2,29 cde | 3,97 a | 3,60 ab | 3,61 ab | 4,37 a | 4,43 a | 2,92 bc |
| Black Mission | 1,79 bc | 2,43 a | 1,28 c | 2,38 a | 1,62 bc | 2,33 a | 2,45 a | 3,35 a | 2,08 bc | 4,18 a | 2,23 b | 3,52 a |
| Adriatic | 1,69 de | 1,99 cde | 1,54 e | 2,37 bcde | 2,62 bc | 2,39 bcde | 3,55 a | 2,53 bcd | 2,12 cde | 2,60 bc | 3,05 ab | 3,16 ab |

Letras diferentes entre cada fila indican diferencia estadística significativa (DMS, $P < 0,05$).

Tabla 5. Efecto de la interacción entre cultivares, silicio (Si) y conductividad eléctrica (CE) en la concentración de clorofila b (mg g^{-1}) hojas de higuera.

Table 5. Effect of cultivar, silicon (Si) and electrical conductivity (EC) interaction on the content of chlorophyll b (mg g^{-1}) fig leaves.

| Si | 0 $\text{mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$ | | | 0 $\text{mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$ | | | 50 $\text{mg L}^{-1}/0 \text{ mg L}^{-1}$ | | | 50 $\text{mg L}^{-1}/50 \text{ mg L}^{-1}$ | | |
|---------------|--|----------|--------|---|----------|-----------|---|----------|----------|--|----------|---------|
| | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 |
| Brown Turkey | 0,58 e | 0,62 e | 0,66 e | 0,95 de | 0,83 de | 0,96 de | 1,76 ab | 1,26 cd | 1,57 bc | 2,17 a | 1,86 ab | 1,77 ab |
| Kadota | 1,07 de | 0,68 ef | 0,43 e | 0,80 ef | 1,40 de | 1,07 de | 1,92 ab | 1,69 bc | 1,98 ab | 2,33 a | 2,14 ab | 1,33 cd |
| Black Mission | 0,78 de | 1,05 cd | 0,54 e | 1,06 cd | 0,77 de | 1,06 cd | 1,16 bcd | 1,47 abc | 0,91 de | 1,93 a | 1,24 bcd | 1,54 ab |
| Adriatic | 0,68 cde | 0,79 cde | 0,56 e | 1,07 bcd | 1,08 bcd | 0,96 bcde | 1,58 a | 1,10 bcd | 0,83 cde | 1,22 abc | 1,35 ab | 1,60 a |

Letras diferentes entre cada fila indican diferencia estadística significativa (DMS, $P < 0,05$).

que lo observado en las concentraciones de clorofilas, el tratamiento sin Si, particularmente en la CE alta (10 dS m⁻¹) presentaron las menores concentraciones de carotenoides (Tabla 6).

En el caso de los pigmentos fotosintéticos, Metwali et al. (2014) encontraron diferencias entre cultivares, donde ‘Brunswick’ registró los mayores valores en comparación con ‘Black Mission’ y ‘Brown Turkey’. Dicho efecto fue similar al encontrado en la presente investigación, donde ‘Kadota’ presentó el mayor contenido de clorofilas, en contraste con las demás cultivares. Las diferencias entre cultivares de higuera también han sido reportadas por Soliman y Alhady (2017) y Zarei et al. (2017).

La disminución de las unidades SPAD y clorofilas (a y b) en las hojas de higuera sometidas a salinidad puede explicarse debido a la disminución en el porcentaje de nitrógeno (componente estructural de la molécula de clorofila) en los tejidos, lo cual fue encontrado por Salimpour et al. (2019) en siete cultivares de higuera sometidos a distintos niveles de NaCl. También ha sido reportada por Abdolinejad y Shekafandeh (2014) en plantas de higuera, al igual que en los trabajos de Soliman y Alhady (2017) y Vangelisti et al. (2019), todos ellos con la misma tendencia observada en la presente investigación. El mismo efecto de disminución de clorofilas también fue observado en plántulas de tomate (Li et al., 2015). Al igual que en el presente trabajo, Zarei et al. (2017) no encontraron diferencias significativas en el contenido de carotenoides en plantas de higuera sometidas a distintos niveles de salinidad.

En general, el Si favoreció el crecimiento vegetativo y contenido de pigmentos fotosintéticos en plantas de higuera. En otros trabajos se ha encontrado que la aportación de Si incrementa la conductividad hidráulica de la raíz (Kim et al., 2017), lo cual incrementa el consumo de agua en las plantas (Haghighi y

Tabla 6. Efecto de la interacción entre cultivares, silicio (Si) y conductividad eléctrica (CE) en la concentración de carotenoides (mg g⁻¹) hojas de higuera.

Table 6. Effect of cultivar, silicon (Si) and electrical conductivity (EC) interaction on in the content of carotenoids (mg g⁻¹) fig leaves.

| Si | 0 mg L ⁻¹ /0 mg L ⁻¹ | | | 0 mg L ⁻¹ /50 mg L ⁻¹ | | | 50 mg L ⁻¹ /0 mg L ⁻¹ | | | 50 mg L ⁻¹ /50 mg L ⁻¹ | | |
|---------------|--|----------|---------|---|----------|----------|---|----------|----------|--|----------|-----------|
| | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 |
| Brown Turkey | 0,40 e | 0,42 de | 0,39 e | 0,56 bc | 0,46 cde | 0,54 bcd | 0,63 ab | 0,66 ab | 0,64 ab | 0,69 a | 0,64 ab | 0,73 a |
| Kadota | 0,55 ab | 0,34 cd | 0,26 d | 0,47 bc | 0,53 ab | 0,55 ab | 0,61 a | 0,59 ab | 0,55 ab | 0,55 ab | 0,63 a | 0,62 a |
| Black Mission | 0,38 de | 0,44 cde | 0,33 e | 0,48 cd | 0,36 de | 0,43 cde | 0,52 bc | 0,63 ab | 0,44 cde | 0,69 a | 0,39 cde | 0,69 a |
| Adriatic | 0,37 e | 0,45 cde | 0,38 de | 0,65 a | 0,60 ab | 0,51 bcd | 0,54 abc | 0,56 abc | 0,52 abc | 0,55 abc | 0,59 abc | 0,49 bcde |

Letras diferentes entre cada fila indican diferencia estadística significativa (DMS, P < 0,05).

Pessaraki, 2013). Dichos efectos también favorecen el acceso de nutrientes a través de la vía apoplástica (Coskun et al., 2016). Este elemento incrementa el contenido de algunas fitohormonas como el ácido abscísico, el ácido salicílico y el etileno, así como el contenido de giberelinas (Kim et al., 2015). Otro de los mecanismos que favorecieron de manera positiva el crecimiento puede ser el incremento de enzimas antioxidantes como super óxido dismutasa, catalasa y peroxidasa (Abdolinejad y Shekafandeh, 2014; Alves et al., 2020).

Bajo condiciones de salinidad, donde existe un déficit de agua en la planta, se producen enzimas peroxidativas que están asociadas con la degradación de las clorofilas. Silva et al. (2012), reportaron que, en plantas de tomate expuestas a déficit de agua, la presencia de Si incrementó el potencial de agua en la hoja con lo que se incrementó la producción de clorofilas, además de mantener en buenas condiciones las ya existentes. La aplicación de Si en plantas de trigo incrementó las clorofilas a y b, así como en plantas de soja (Hamayun et al., 2010), lo cual coincide con esta investigación. El incremento de los pigmentos fotosintéticos en las plantas tratadas con Si puede ser explicado por las evidencias registradas en que este elemento favorece de forma positiva la estructura de los cloroplastos (Gengmao et al., 2015), además de incrementar la actividad de la enzima RuBisCO (Garg y Bhandari, 2015).

Conclusiones

Las cultivares de higuera mostraron diferencias en el efecto de las aportaciones de Si y la diferencia entre CE. Estos efectos fueron observados en la brotación y enraizamiento, así como en crecimiento vegetativo y contenido de pigmentos fotosintéticos. Lo anterior demuestra que los cultivares de higuera res-

ponden de distinta manera en la fase de propagación y crecimiento. Por ello, los cultivares locales deben ser evaluados para determinar los mejores materiales para el establecimiento de huertos comerciales. Particularmente el cultivar 'Brown Turkey' mostró las tasas más elevadas de enraizamiento y crecimiento. Una CE igual o menor a 5 dS m⁻¹ no representó problemas para el crecimiento inicial de este frutal, mientras que la aplicación de Si mostró efectos benéficos siendo la aplicación de Si en la fase de propagación la que propició un mayor crecimiento y concentración de pigmentos. Para confirmar estos resultados, se sugiere llevar a cabo nuevos ensayos complementarios para estudiar algunos de los efectos encontrados de forma independiente.

Referencias bibliográficas

- Abdolinejad R, Shekafandeh A (2014). Responses of two figs (*Ficus carica* L.) cultivars under salt stress via *in vitro* condition. *Agriculture Science Developments* 3(5): 194-199.
- Agustí M (2010). *Fruticultura*, 2da Edición. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 507 pp.
- Aljane F, Nahdi S (2014). Propagation of some local fig (*Ficus carica* L.) cultivars by hardwood cuttings under the field conditions in Tunisia. *International Scholarly Research Notices* 2014: 809450. <https://doi.org/10.1155/2014/809450>.
- Alves RC, Malvas MC, Checchio MV, Sousa GS, Oliveira FA, Prado RM, Gratão PL (2020). Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. *Bragantia* 79(1): 19-29. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2019.0360>.
- Badgajar SB, Patel VV, Bandivdekar AH, Mahajan RT (2014). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Ficus carica*: A review. *Pharmaceutical Biology* 52 (11): 1487-1503. <https://doi.org/10.3109/13880209.2014.892515>.

- Coskun D, Britto DT, Huynh WQ, Kronzucker HJ (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science* 7: 1072. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01072>.
- Crisosto CH, Bremer V, Ferguson L, Crisosto GM (2010). Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. *HortScience* 45(4): 707-710. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.4.707>.
- Deepa P, Sowndhararajan K, Kim S, Park SJ (2018). A role of *Ficus* species in the management of diabetes mellitus: A review. *Journal of Ethnopharmacology* 215: 210-232. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.12.045>.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2020). Statistical Yearbook. Agricultural production. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (Consultado: 17 febrero 2020).
- Garg N, Bhandari P (2015). Silicon nutrition and mycorrhizal inoculations improve growth, nutrient status, K⁺/Na⁺ ratio and yield of *Cicer arietinum* L. genotypes under salinity stress. *Plant Growth Regulation* 78(3): 371-387. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0099-x>.
- Gengmao Z, Shihui L, Xing S, Yizhou W, Zipan C (2015). The role of silicon in physiology of the medicinal plant (*Lonicera japonica* L.) under salt stress. *Scientific Reports* 5: 12696. <https://doi.org/10.1038/srep12696>.
- Giaccone M, Pannico A, Scognamiglio P, Rivera CM, Cirillo C, Roupael Y, De Pascale S, Basile B (2017). Regression model for leaf area estimation in *Ficus carica* L. *Acta Horticulturae* 1173: 163-168. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1173.27>.
- Haghighi M, Pesarakli M (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae* 161: 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.034>.
- Hamayun M, Sohn EY, Khan SA, Shinwari ZK, Khan AL, Lee IJ (2010). Silicon Alleviates the Adverse Effects of Salinity and Drought Stress on Growth and Endogenous Plant Growth Hormones of Soybean (*Glycine max* L.). *Pakistan Journal of Botany* 42(3): 1713-1722.
- Harzallah A, Bhourri AM, Amri Z, Soltana H, Hammami M (2016). Phytochemical content and antioxidant activity of different fruit parts juices of three figs (*Ficus carica* L.) varieties grown in Tunisia. *Industrial Crops and Products* 83: 255-267. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.043>.
- Kafi M, Rahimi Z (2011). Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition* 57(2): 341-347. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.567398>.
- Kim YH, Khan AL, Lee IJ (2015). Silicon: A duo synergy for regulating crop growth and hormonal signaling under abiotic stress conditions. *Critical Reviews in Biotechnology* 36(6): 1099-1109. <https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1084265>.
- Kim YH, Khan AL, Waqas M, Lee IJ (2017). Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review. *Frontiers in Plant Science* 8: 510. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00510>
- Lee SK, Sohn EY, Hamayun M, Yoon JI, Lee IJ (2010). Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agroforestry Systems* 80(3): 333-340. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9299-6>.
- Li H, Zhu Y, Hu Y, Han W, Gong H (2015). Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 71. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1818-7>.
- Liang Y, Sun W, Zhu YG, Christie P (2006). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution* 147(2): 422-428. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008>.
- Lichtenthaler HK (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
- Marr IL, Suryana N, Lukulay P, Marr MI (1995). Determination of chlorophyll a and b by simultaneous multi-component spectrophotometry. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* volume 352(5): 456-460. <https://doi.org/10.1007/BF00323366>.

- Metwali EMR, Soliman HIA, Al-Zahrani HS, Howladar SM, Fuller MP (2014). Influence of different concentrations of salt stress on *in vitro* multiplication of some fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Life Science Journal* 11(10): 386-397.
- Niu G, Davis TD, Masabni J (2019). A review of salinity tolerance research in horticultural crops. *Journal of Arid Land Studies* 29(2): 53-59. https://doi.org/10.14976/jals.29.2_53.
- Nouman W, Qureshi MK, Shaheen M, Zubair M (2018). Variation in plant bioactive compounds and antioxidant activities under salt stress. En: *Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants* (Ed. Vats S), pp. 77-101. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_4.
- Pakyürek M, Dumano lu H (2019). Effects of saline stress on *in vitro* seed germination and seedling growth of some Turkish fig cultivars (*Ficus carica* L.). *Applied Ecology And Environmental Research* 17(6): 13485-13492. https://doi.org/10.15666/aeer/1706_1348513492.
- Pipattanawong N, Tiwong S, Thongyeon B, Darak R., Thamin P, Techa W (2008). Improvement of propagation by hardwood cuttings with and without using plastic pavilions in fig (*Ficus carica* L.). *Kasetsart Journal – Natural Science* 42(2): 207-214.
- Ranganathan S, Suvarchala V, Rajesh Y, Prasad MS, Padmakumari AP, Voleti SR (2006). Effects of silicon sources on its deposition, chlorophyll content, and disease and pest resistance in rice. *Biologia plantarum* 50(4): 713-716. <https://doi.org/10.1007/s10535-006-0113-2>.
- Rizwan M, Ali S, Ibrahim M, Farid M, Adrees M, Bharwana SA, Rehman MZ, Qayyum M, Abbas F (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 15416-15431. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5305-x>.
- Robatjazi R, Roshandel P, Hooshmand S (2020). Benefits of silicon nutrition on growth, physiological and phytochemical attributes of basil upon salinity stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 7(1): 37-50. <https://doi.org/10.22059/IJHST.2020.288551.318>.
- Salimpour A, Shamili M, Dadkhodaie A, Zare H, Hadadinejad M (2019). Evaluating the salt tolerance of seven fig cultivars (*Ficus carica* L.). *Advances in Horticultural Science* 33(4): 553-565. <https://doi.org/10.13128/ahsc-8191>.
- Servaz B, Raymond J (2015). Silicon in soils and plants. En: *Silicon and Plant Diseases* (Eds. Rodrigues F, Datnoff L), pp. 7-52. Springer, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22930-0>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2020). Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (Consultado: 5 febrero 2020).
- Silva ON, Lobato AKS, Ávila FW, Costa RCL, Oliveira Neto C, Santos Filho BG, Martins Filho AP, Lemos RP, Pinho JM, Medeiros MBCI, Cardoso MS, Andrade IP (2012). Silicon-induced increase in chlorophyll is modulated by the leaf water potential in two water-deficient tomato cultivars. *Plant, Soil And Environment* 58(11): 481-486. <https://doi.org/10.17221/213/2012-PSE>.
- Soliman HIA, Alhady MRA (2017). Evaluation of salt tolerance ability in some fig (*Ficus carica* L.) cultivars using tissue culture technique. *Journal of Applied Biology & Biotechnology* 5(6): 29-39. <https://doi.org/10.7324/JABB.2017.50605>.
- Tuna AL, Kaya C, Higgs D, Murillo-Amador B, Aydemir S, Girgin AR (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany* 62(1): 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.06.006>.
- United States Department of Agriculture (USDA) (2020). Agricultural Research Service. Food Composition Databases. Disponible en: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list> (Consultado: 21 marzo 2020).
- Vangelisti A, Zambrano LS, Caruso G, Macheda D, Bernardi R, Usai G, Mascagni F, Giordani T, Gucci R, Cavallini A, Natali L (2019). How an ancient, salt-tolerant fruit crop, *Ficus carica* L., copes with salinity: a transcriptome analysis. *Scientific Reports* 9: 2561. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39114-4>.
- Yan G, Fan X, Peng M, Yin C, Xiao Z, Liang Y (2020). Silicon improves rice salinity resistance by alle-

viating ionic toxicity and osmotic constraint in an organ-specific pattern. *Frontiers in Plant Science* 11: 260. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00260>.

Zarei M, Azizi M, Rahemi M, Tehranifar A (2016). Evaluation of NaCl salinity tolerance of four fig genotypes based on vegetative growth and ion content in leaves, shoots, and roots. *HortScience* 51(11): 1427-1434. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11009-16>.

Zarei, M, Azizi M, Rahemi M, Tehranifar A, Davarpanah S (2017). Effect of salinity stress on some physiological and biochemical responses of four fig (*Ficus carica* L.) hybrids. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology* 18(2): 143-158.

(Aceptado para publicación el 17 de mayo de 2021)