



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

Doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y
Medio Ambiente en Zonas Áridas

**DINÁMICA NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE HIGO (*Ficus carica* L.)
BAJO SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTENSIVA**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE
EN ZONAS ÁRIDAS

Presenta:

SELENNE YURIDIA MÁRQUEZ GUERRERO

Bajo la supervisión de: JESÚS GUADALUPE ARREOLA ÁVILA, Dr.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bermejillo, Durango, México. Mayo, 2019.




inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, agrícolas y Pecuarias

Tesis realizada por **SELENNE YURIDIA MARQUEZ GUERRERO** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE EN
ZONAS ÁRIDAS**

DIRECTOR:



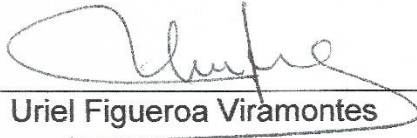
Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

CO-DIRECTOR:



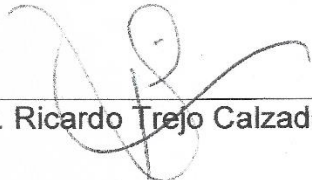
Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez

ASESOR:



Dr. Uriel Figueroa Viramontes

ASESOR:



Dr. Ricardo Trejo Calzada

ASESOR:



Dr. José Antonio Cueto Wong

LECTOR EXTERNO:



Dr. José Alfredo Samaniego Gaxiola

CONTENIDO

	Página
Abreviaturas.....	viii
Dedicatoria.....	xi
Agradecimientos.....	xii
Datos bibliográficos.....	xiii
Resumen general.....	xv
General abstrac.....	xvi
CAPÍTULO 1	
1. Introducción general	1
2. Objetivos.....	3
2.1.1. Objetivo general.....	3
2.1.2. Objetivos específicos.....	3
3. Hipótesis.....	3
4. Revisión de Literatura.....	4
4.1. Antecedentes y generalidades del cultivo de higuera.....	4
5. Literatura Citada.....	10
CAPITULO 2	11
2. Variación estacional de la concentración foliar de nutrimentos en huertas de higuera (<i>Ficus carica</i> L.) bajo sistemas de producción intensiva.....	13

2.1. Resumen.....	14
2.2. Abstrac.....	15
2.3. Introducción.....	16
2.4. Materiales y métodos.....	17
2.5. Resultados y discusión.....	23
2.6. Conclusión.....	35
2.7. Literatura citada.....	36
CAPITULO 3	42
3. Concentración nutrimental foliar y biomasa del higo ‘Black Mission’ modificado por la aplicación de NPK.....	42
3.1. Resumen.....	43
3.2. Summary.....	44
3.3. Introducción.....	45
3.4. Materiales y métodos.....	47
3.4.1. Sitio experimental y material vegetal.....	47
3.4.2. Diseño experimental.....	47
3.4.3. Variables de respuesta.....	50
3.4.4. Eficiencia agronómica en el uso de nutrientes.....	51
3.4.5. Análisis de la información.....	51
3.5. Resultados y discusión.....	52
3.5.1. Análisis univariado.....	52
3.5.2. Análisis multivariado.....	53
3.5.3. Interacciones entre N, P y K.....	56
3.5.4. Eficiencia agronómica en el uso de nutrientes (EAUN).....	60
3.6. Conclusiones.....	63
3.7. Bibliografía.....	64

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Caracterización física – química del suelo de las huertas de higuera seleccionadas en el estudio.....	21
2.2	Valores de probabilidad (p) de que las medias de la concentración foliar de cada nutrimento en las cuatro huertas sean estadísticamente iguales, de acuerdo con el análisis de varianza. Donde hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se anota entre paréntesis el valor de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), con un valor de $\alpha = 0.05$	25
2.3	Valores promedio por mes (\pm desviación estándar) de la concentración de nutrimentos en árboles de higuera.....	35
3.1	Matriz de tratamientos a base de NPK aplicados a plantas de higo cv. 'Black Mission' en 2016.....	48
3.2	Resumen del análisis de la varianza de la influencia de una matriz completa de NPK en la concentración foliar de macro y micronutrientes y biomasa total (BT) en plantas de higo cv. 'Black Mission'.....	53

3.3	Coeficientes canónicos estandarizados de cinco variables canónicas de la concentración foliar de nutrientes y biomasa total de plantas de higo cv. 'Black Mission'.....	54
3.4	Influencia de la fertilización mineral (FM) en la concentración promedio de macro y micronutrientes con base en masa seca en hojas de higo cv. 'Black Mission' recolectadas en noviembre de 2016. Cada promedio (\pm desviación estándar) se estimó con una muestra foliar por plantas por tratamiento (n = 108).....	59
3.5	Eficiencia de uso de N, P y K en términos de eficiencia de uso agronómico en plantas de higo cv. 'Black Mission'. En cada nutrimento, letras diferentes dentro de la columna indican diferencias a través del intervalo estudentizado de Tukey con $p < 0.05$	61

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1	Variación estacional de macroelementos en el cultivo de higuera durante el ciclo de producción 28
2.2	Variación estacional de microelementos en el cultivo de higuera durante el ciclo de producción..... 34
3.1	Valores canónicos promedios de las dos primeras variables canónicas de 10 nutrientes en la agrupación de 27 tratamientos de fertilizantes minerales producto de una matriz completa de N (0, 80, 150 kg ha ⁻¹), P (0, 40, 80 kg ha ⁻¹) y K (0, 80 y 160 kg ha ⁻¹) en plantas de higo cv. 'Black Mission'..... 56
3.2	Valores canónicos promedios de las variables canónicas I, II y IV de 10 nutrientes y biomasa total en la agrupación de 27 tratamientos de fertilizantes minerales producto de una matriz completa de N (0, 80, 160 kg ha ⁻¹), P (0, 40, 80 kg ha ⁻¹) y K (0, 80 y 160 kg ha ⁻¹) (A) e interacción N x P (B) en plantas de higo cv. 'Black Mission'..... 57
3.3	Influencia de las interacciones N x K y P x K en la concentración foliar de Na en plantas de higo cv. 'Black Mission'..... 62

ABREVIATURAS

Abreviaturas	Palabras	Significado
Abr	Abril	
ADC	Análisis discriminante canónico	
Ago	Agosto	
BT	biomasa total	
BTC	Biomasa total con	Biomasa total con fertilizante
BTS	Biomasa total sin	Biomasa total sin fertilizante
CAF	Cosecha alta de frutos	
CB	Cosecha de brevas	
CCE	Coefficientes canónicos estandarizados	
CE	Conductividad eléctrica	
CF	Concentración foliar	
CFN	Concentración foliar de nutrientes	
CMF	Cosecha media de frutos	
Coah	Coahuila	

CONABIO		Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad
CV	Crecimiento vegetativo	
CV	Coeficiente de variación	
DB	Desarrollo de brevas	
DF	Desarrollo de frutos	
DMS	Diferencia mínima significativa	
EAUN		Eficiencia agronómica en el uso de nutrientes
FAO	Food agricultura organization	
FNC	Foliar nutrient concentrations	
GLM	Generalized lineal models	
INIFAP		Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Jul	Julio	
Jun	Junio	
LN	Latitud Norte	
LO	Longitud oeste	
May	Mayo	

MF	Maduración de frutos	
MO	Materia orgánica	
N inorg	Nitrógeno inorgánico	
NOM		Norma oficial mexicana
NS	No significativo	
Oct	Octubre	
PC	Postcosecha	
pH	Potencial hidrogeno	Potencial de hidrogeno
SEMARNAT	Secretaria medio ambiente recursos naturales	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Sep	Septiembre	
SIAP	Servicio información agroalimentaria y pesquera	Servicio de información agroalimentaria y pesquera
TB	Total biomass	
VC	Variabes canónicas	

DEDICATORIA

A Dios por el espacio y tiempo que ha permitido mi existencia en este mundo.

A mis padres, por su apoyo brindado desde el inicio hasta el final en este proyecto de vida.

A mis hijas Melissa y Lucía, por ser ellas mi gran inspiración de amor en mi vida, para sembrar en ellas la búsqueda de la verdad, que llene sus vidas de completa libertad.

Para ellas la siguiente frase:

“La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo”

Nelson Mandela

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que hace posible a través del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC), la formación de profesionales postgraduados de calidad humana, científica y tecnológica, que contribuyen al desarrollo regional y nacional de manera equitativa y sustentable, como es mi caso.

A la Universidad Autónoma Chapingo Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, por su apoyo incondicional para la obtención del grado de doctor, en su programa de Doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas.

A cada uno de los miembros de mi comité de Tesis: Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila, Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez, Dr. Uriel Figueroa Viramontes, Dr. Ricardo Trejo Calzada y Dr. José Antonio Cueto Wong; por su apoyo, dedicación y orientación en mi proceso de investigación doctoral; cada uno pieza clave en la obtención del grado.

A la coordinación de posgrado Dr. Aurelio Pedroza Sandoval y su mano derecha administrativa por el seguimiento académico, de investigación y administrativo que dedican a cada uno de los estudiantes del posgrado.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Sellenne Yuridia Márquez Guerrero

Fecha de nacimiento: 5 de marzo de 1980

Lugar de nacimiento: Torreón Coahuila

CURP: MAGS800305MCLRRL02

Profesión: M.C. en ciencias en suelos

Cédula profesional: 9242123

Desarrollo académico

Bachillerato: Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 156

Licenciatura: enero 1999 a junio 2003, Ingeniero Químico, Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coahuila

Obtención de título y cédula profesional.

Tesis: Optimización de costos, operación y ahorro de agua en las estaciones C.I.P. (Desarrollo en Lala Derivados Lácteos, División Yogurt).

Maestría: enero 2013 a diciembre 2014, Maestría en Ciencias en Suelos,

Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón Coahuila.

Obtención de título y cedula a profesional.

Tesis: Exploración de medios y condiciones de cultivo para la producción de esporas de *Metarhizium sp.*

Distinciones

Beca otorgada por el CONACYT para cursar estudios de doctorado en ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, de la Universidad Autónoma Chapingo Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Beca otorgada por el CONACYT para cursar estudios de maestría en ciencias en suelos, en el Instituto Tecnológico de Torreón.

RESUMEN GENERAL

“Dinámica nutrimental del cultivo de higo (*Ficus carica* L.) bajo sistemas de producción intensiva ”

Información sobre la dinámica de nutrimentos y la influencia de macronutrientes en la concentración foliar de nutrientes (CFN) y biomasa total (BT) del higo, es limitada. El objetivo de esta investigación fue conocer la dinámica de nutrimentos y la respuesta a nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante el ciclo de crecimiento. En el primer capítulo se llevó a cabo en cuatro huertas de higo, muestreo y análisis foliar mensual durante el ciclo de N, P, K, calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y níquel (Ni). La CFN, en la mayoría de los casos no mostraron diferencias significativas entre huertas, dentro de cada fecha de muestreo. Las CFN estuvieron dentro de niveles de suficiencia reportados para higo, a excepción de Ca y Mg que fueron más bajos. En conclusión, el higo presenta variaciones estacionales grandes durante el ciclo, en la mayoría de los nutrimentos. El segundo capítulo evaluó la respuesta a la aplicación de N, P y K en plantas de higo cultivadas en ambiente protegido, con tres niveles para cada nutrimento, (N) 0, 80 y 160 kg ha⁻¹, (P) 0, 40 y 80 kg ha⁻¹ y (K) 0, 80 y 160 kg ha⁻¹. En macetas con sustrato arena inerte. Las variables de respuesta, fueron CF de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y sodio (Na); biomasa total (BT), y la eficiencia agronómica en el uso de nutrientes (EAUN). Los resultados del análisis discriminante canónico (ADC), mostraron cinco variables canónicas (VC). Los tratamientos sobresalientes en BT fueron T13 (80-40-0) y T23 (160-40-80). Las CFN del T13 en postcosecha son (N 2.8 %, P 0.10 %, K 1.5 %, Ca 1.4 %, Mg 0.36 %, Fe 191.0 mg kg⁻¹, Cu 5.9 mg kg⁻¹, Mn 99.9 mg kg⁻¹, Zn 26.5 mg kg⁻¹, Na 1500.1 mg kg⁻¹), pueden ser consideradas como adecuadas para el cultivo.

Palabras clave: *Ficus carica* L, macronutrientes, micronutrientes, análisis discriminante canónico, eficiencia agronómica en el uso de nutrientes.

Tesis de doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: M.C. Sellenne Yuridia Márquez Guerrero
Director de Tesis: Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila¹

GENERAL ABSTRACT

“Nutritive dynamics of fig cultivation (*Ficus carica* L.) under intensive production systems ”

Information on nutrient dynamics and the influence of macronutrients on the foliar concentration of nutrients (FCN) and total biomass (TB) of the fig is limited. The objective of this research was to know the dynamics of nutrients and the response to nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) during the growth cycle. The first chapter was carried out in four fig orchards, sampling and monthly leaf analysis during the cycle of N, P, K, calcium (Ca), magnesium (Mg.), iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn) and nickel (Ni). The CNF, in most cases there were not significant differences between orchards, within each sampling date. The FCN were within the levels of sufficiency reported for fig, with the exception of Ca and Mg which were lower. In conclusion, the fig shows large seasonal variations during the cycle, in most nutrients. The second chapter evaluated the response to the application of N, P and K in fig plants grown in protected environment, with three levels for each nutrient, (N) 0, 80 and 160 kg ha⁻¹, (P) 0, 40 and 80 kg ha⁻¹ and (K) 0, 80 and 160 kg ha⁻¹. In pots with inert sand substrate. The response variables were CF of N, P, K, Ca, magnesium Mg, Fe, manganese Mn, Cu, Zn and Sodium (Na); total biomass (TB), and the agronomic efficiency in the use of nutrients (AEUN). The results of the canonical discriminant analysis (CDA) showed five canonical variables (CV). The outstanding treatments in TB were T13 (80-40-0) and T23 (160-40-80). The CFN of T13 in postharvest are (N 2.8%, P 0.10%, K 1.5%, Ca 1.4%, Mg 0.36%, Fe 191.0 mg kg⁻¹, Cu 5.9 mg kg⁻¹, Mn 99.9 mg kg⁻¹, Zn 26.5 mg kg⁻¹, Na 1500.1 mg kg⁻¹), can be considered suitable for cultivation.

Key words: Leaf sampling, intensive production, *Ficus carica* L, macronutrients, micronutrients, canonical discriminant analysis, agronomic efficiency in the use of nutrients.

Doctoral Thesis, in Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: M.C. Selenne Yuridia Márquez Guerrero
Advisor: Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El cultivo de la higuera (*Ficus carica* L.) es originario de Asia central, de donde se diseminó a todo el mediterráneo y posteriormente al continente americano (Pereira *et al.*, 2015).

Se adapta a una gran variedad de suelos y climas por su tolerancia a salinidad y sequía, sin embargo, las mejores producciones se obtienen en áreas con clima seco y cálido en verano y fresco y húmedo en invierno (El-Shazly *et al.*, 2014). Razón por la cual, la higuera es un cultivo que se identifica con las zonas áridas y semiáridas.

México ocupa el lugar número 19 de 51 países productores registrados en las estadísticas de la FAO (FAO, 2018). Turquía y Egipto ocupan el primero y segundo lugar, con 300 mil y 168 mil t año⁻¹, respectivamente; en contraste, México produjo 7 mil t en 1340 ha en el 2016, para un rendimiento de 5.2 t ha⁻¹. El 70 % de la superficie en México se concentra en los estados de Morelos y Baja California Sur, con producciones a campo abierto, donde el rendimiento promedio nacional es de 4.6 t ha⁻¹ (SIAP, 2018). Sin embargo, el potencial de rendimiento es mayor, en España a nivel experimental bajo condiciones de hidroponía y con 26,000 a 34,000 plantas ha⁻¹, se han obtenido rendimientos de 80 t ha⁻¹ (Melgarejo *et al.*, 2007).

La higuera es uno de los cultivos que presenta versatilidad de producción, desde árboles plantados a campo abierto con manejo extensivo donde las producciones no superan las 10 t ha⁻¹ año; hasta producciones intensivas bajo cubierta plástica que pueden llegar hasta las 80 t ha⁻¹ año (Melgarejo *et al.*, 2007).

En México el cultivo de higo bajo condiciones de cubierta plástica y con manejo intensivo ha sido estudiado desde el 2008, esto solo a nivel experimental en Texcoco, estado de México. Donde las plantas son cultivadas en macetas, con altas densidades (1.25 plantas m⁻²). En donde, se registraron producción de hasta 109.5 t ha⁻¹ y biomasa total de 29.6 t ha⁻¹ (Mendoza, 2013).

A inicios del 2012 se establecieron en la Comarca Lagunera de Durango huertas de higo en sistemas intensivos de producción, es decir, en altas densidades, con riego por goteo y protegidos con plástico para prevenir daños por heladas; la superficie actual es de 16 ha y se tiene planeado establecer 16 ha más. Los árboles están plantados a 2 x 2 m, para una densidad de 2,500 plantas ha⁻¹; la copa de los árboles se mantiene compacta mediante poda anual y podas en verde. Tienen un sistema de riego por microaspersión, con una lámina de riego promedio de 95 cm en el año. Con este sistema, los rendimientos estimados son de 40 t ha⁻¹. Debido a que se tiene la expectativa de exportar gran parte de la producción, ya sea en fresco o en forma procesada.

Para este cultivo en sistemas de producción intensiva, no se cuenta con suficiente información sobre rangos de suficiencia, época adecuada para la toma de muestras para análisis foliar, así como curvas de respuesta del cultivo a elementos esenciales. Siendo uno de los principales problemas, la falta de información técnica para un adecuado manejo. Aunque la superficie cultivada actualmente en este sistema es poca, la información generada en esta investigación, será de utilidad para otras regiones del país que tengan características de zonas áridas y semiáridas quieran incursionar en este cultivo, con potencial de exportación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Conocer la respuesta y fluctuación de nutrimentos durante el ciclo de crecimiento del higo (*Ficus carica* L.), en sistemas de producción intensiva.

2.2 Objetivos específicos

- i. Evaluar la fluctuación temporal de los nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y Ni), durante el ciclo de crecimiento en cuatro huertas de higo, bajo sistemas de producción intensiva.
- ii. Evaluar una matriz completa de nitrógeno-fósforo-potasio (NPK) y su efecto en la composición foliar nutrimental y biomasa total de plantas de higo 'Black Mission' cultivadas en ambiente protegido.

3. HIPÓTESIS

- i. Ho: La concentración de elementos esenciales en el tejido foliar, no presenta fluctuación, durante el ciclo de crecimiento del higo, bajo sistemas de producción intensiva.
- ii. Ho: La composición foliar nutrimental y biomasa total de plantas de higo 'Black Mission' no se modifica con el suministro de NPK cultivadas en ambiente protegido.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Antecedentes y generalidades del cultivo de higuera

El cultivo de higuera, al igual que ocurrió con otras especies como el olivo, ha traspasado las fronteras tradicionales como lo es el Mediterráneo. Aunque sus grandes productores siguen siendo la cuenca mediterránea, el norte de África y Euroasia. A nivel mundial Turquía y Egipto ocupan el primer y segundo lugar, con 300 000 y 168 000 t año⁻¹, respectivamente, mientras que México ocupa el lugar 19, con una producción de 7 000 t año⁻¹, en una superficie de 1 340 ha localizadas principalmente en los estados de Morelos y Baja California Sur, lo que da un rendimiento de 5.2 t ha⁻¹ (FAO, 2018; SIAP, 2018).

El árbol de higuera es un arbusto caducifolio perteneciente a la familia de las Moráceas, especie *Ficus carica*, (Gallego *et al.*, 2009). Se adapta a una gran variedad de suelos y climas por su tolerancia a salinidad y sequía, los mejores rendimientos se obtienen en áreas con clima seco y cálido en verano y con invierno fresco y húmedo (El –Shazly *et al.*, 2014).

El higo se considera una planta subtropical, pueden cultivarse con éxito en zonas más frías donde los inviernos son relativamente moderados. Los árboles jóvenes son muy susceptibles al daño por heladas, sobre todo si las heladas de primavera presentan temperaturas muy bajas. La higuera no requiere frío invernal para romper la latencia. Se pueden cultivar en las zonas costeras, pero la fruta se ve alterada por la lluvia y puede fermentar por las temperaturas calientes en climas húmedo (Brien and Hardy, 2002).

El árbol de higo tolera condiciones más secas que la mayoría de árboles frutales, sin embargo, necesita riego y su frecuencia depende del tamaño del árbol, el vigor, el tipo de suelo y precipitaciones anuales de la región donde se cultiva. El suministro adecuado de agua es importante durante el desarrollo del fruto. Muy

poca agua puede dar lugar a menos carnosos o incluso higos vacíos, y el exceso de agua en pleno verano causará excesivo crecimiento vegetativo comprometiendo la calidad de la fruta, y colocará el árbol en riesgo de daños (Brien and Hardy, 2002).

La higuera prefiere suelos con pH entre 6 y 7.8, sin embargo, se desarrolla bien en intervalos de pH de 8 a 8.5 (Brien and Hardy, (2002), CONABIO, (2018)), se recomienda la aplicación de cal si el pH del suelo es menor de 6 (Brien and Hardy, 2002).

Su cultivo se realiza tradicional y fundamentalmente en secano, aunque cada vez son más las huertas que incorporan técnicas de riego y variedades de mayor rendimiento (Melgarejo, 2000).

Muchas plantaciones de higos requieren gran cantidad de unidades de calor para lograr una buena calidad de la fruta y nunca son aceptables en climas fríos; el higo es muy tolerante a la sequía una vez establecido, pero necesita riego regular durante su establecimiento (Stover *et al.*, 2007).

De acuerdo a la superficie cultivada a nivel de traspatio, a nivel nacional no se superan las 10 mil t de producción de higo fresco, esta producción se debe superar con el desarrollo de tecnología en este cultivo, pues no se cuenta con resultados de investigación relativa a las preferencias del cultivo en cuanto a multiplicación intensiva de planta, suelos, requerimientos hídricos, hongos antagónicos, altas densidades de plantación, requerimientos nutricionales, materia orgánica y control fitosanitario de plagas y enfermedades (Rodríguez *et al.*, 2013).

La higuera presenta gran versatilidad para su producción, desde árboles plantados a campo abierto con manejo extensivo y rendimiento de fruto que no supera las 10 t ha⁻¹ año⁻¹, hasta plantaciones intensivas bajo cubierta que pueden llegar a las 80 t ha⁻¹ año⁻¹ (Melgarejo *et al.*, 2007).

La poda parcial o total de las hojas y ramas de la higuera contribuye al incremento del área foliar y aumenta el espesor de las hojas, parámetros que favorecen el intercambio gaseoso y el contenido relativo de clorofila (González-Rodríguez y Peters, 2010).

Los componentes principales de nutrientes del higo son azúcares y elementos minerales, principalmente almidón, seguido por la glucosa, fructosa, K, Ca, Mg, Na y Zn. Estos nutrientes son algunos de los elementos más importantes en la evaluación de la calidad comercial de los higos (Aljane *et. al.*, 2007).

Nieto *et al.*, (2007); reportan que el árbol de higo se beneficia mucho con fertilizantes o abonos orgánicos nitrogenados, en su desarrollo vegetativo, sin embargo, los frutos aumentan de tamaño, pierden calidad en su contenido de sólidos, se vuelven más perecibles, por lo que, no se recomienda el exceso de nitrógeno.

Una cantidad suficientes nutrimentos deben ser suministrados para asegurarse de que el follaje sea saludable, y pueda albergar el fruto de las quemaduras solares durante el verano. Se recomiendan aplicaciones quincenales pequeñas de soluciones nutrimentales que se puedan aplicar en el sistema de riego a lo largo de la temporada de crecimiento. Con una relación de fertilizantes N, P y K de aproximadamente 20:5:20. Se recomienda realizar análisis de las hojas al final de la temporada de cosecha para vigilar la nutrición y las necesidades de fertilizantes (Brien and Hardy, 2002).

CONABIO (2018) y Mordogan (2013), consideran la higuera como un cultivo marginal, con bajos requerimientos nutrimentales; este último autor, no encontró alternaciones significativas en las concentraciones foliares de N, P, K, Ca y Mg en plantas de higo tratadas o no tratadas con fertilización orgánica; pero, en contraste, observó que la fertilización orgánica, mejoró el vigor de las plantas. Sin embargo, estudios clásicos como el de Brown (1994), demuestra que la

concentración foliar nutrimentos esenciales como nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn), presentan cambios a lo largo del ciclo de crecimiento; por ejemplo, en árboles de alto vigor, la concentración de N disminuyó de 2.3 a 1.5%, la de P de 0.14 a 0.09% y K de 1.4 a 0.7% de mayo a octubre (de floración a postcosecha), mientras que la concentración de B aumentó de 65 a 125 y la de Mn de 80 a 150 mg kg⁻¹ en el mismo periodo. De acuerdo con este autor, parte de la variabilidad nutricional que presenta el cultivo durante el ciclo de crecimiento se explica por la removilización de nutrientes fuera de las hojas. Concluyendo que la dinámica de nutrimentos durante la temporada de crecimiento es un indicador del estado nutrimental de los árboles y por consiguiente del rendimiento (Brown, 1994). Por consiguiente, el estado nutrimental de una planta, se refleja mejor, con el contenido de elementos minerales presentes en las hojas, que en otros órganos de la planta (Marschner, 1995).

Los estudios de absorción de nutrimentos contabilizan los requisitos, extracción o consumo que efectúa un cultivo para completar su ciclo de producción. Y constituyen una forma cuantitativa de la recomendación sustentable de los programas de fertilización, ya que permite conocer la cantidad de nutrimento en kg ha⁻¹, que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado en un tiempo definido (Bertsch, 2003).

El éxito del aprovechamiento del uso de fertilizantes químicos, para alcanzar el máximo rendimiento esperado de un cultivo, puede estar asociado por las relaciones sinérgicas y antagonistas, que son responsables de la absorción, asimilación, transporte y utilización eficiente de los nutrientes (Malvi, 2011).

La eficiencia de uso de nutrientes, es de gran utilidad para diferenciar especies de plantas, genotipos y cultivos en su capacidad de absorción y utilización de nutrientes para su máxima expresión en rendimiento. La eficiencia de uso de nutrientes, se basa en (a) la eficiencia de captación de nutrientes disponibles en

la solución del suelo a través de las raíces; (b) la eficiencia de incorporación de nutrientes a través de los transportes y (c) la eficiencia de utilización, basada en la movilización de los nutrientes dentro de la planta (Baligar y Fageria, 2014; Baligar, *et al.*, 2001).

En la Región Lagunera de Durango, la cual se ubica en la zona árida del norte de México, cuenta con las condiciones de clima seco y escasa precipitación, las cuales son favorables para la reproducción y cultivo de higuera (*Ficus carica*), ya sea de higo blanco o higo negro (Arreola *et al.*, 2012).

A partir del año 2012, la empresa Agrana Fruit de México S.A., que opera con capital financiero francés, firmó un convenio con el gobierno del estado de Durango para establecer dicho cultivo en esta región con el propósito de satisfacer la demanda norteamericana de pasta de higo (Rodríguez *et al.*, 2013). Los suelos de las huertas presentan textural de arcilla, con más de 45% de arcilla y menos de 32 % de arena en las tres profundidades; este tipo de suelos predominan en la Comarca Lagunera (Santamaría *et al.*, 2006).

Para proponer al higo como un sistema de producción intensiva, se documentaron las respuestas fisiológicas a nivel de planta completa en sistemas intensivos de producción bajo cubiertas plásticas, con 1.25 plantas m⁻², donde los rendimientos más altos de fruto fresco y biomasa total en plantas con seis tallos provinieron de los tratamientos con 20 y 22 frutos por tallo, con 85.8 y 92.1 t ha⁻¹ y biomasa total de 16.3 y 26.5 t ha⁻¹, respectivamente. El mayor valor de fruto fresco y biomasa seca total en plantas con 20 frutos por tallo, se registró con ocho tallos con 109.5 t ha⁻¹ y biomasa total de 29.6 t ha⁻¹ (Mendoza, 2013).

5. LITERATURA CITADA

- Aljane, F., Toumi, I., and Ferchichi, A., (2007). HPLC determination of sugars and atomic absorption analysis of mineral salts in fresh figs of Tunisian cultivars. *African J. Biotechnol*, 6, 599-602.
- Arreola, A.J., Macías, R.H., Muñoz, A.V., Rivera, G.M., y Villa, C.M., (2012). Utilización de *Trichoderma* para enraizamiento de estaca de higuera de higo blanco e higo negro variedades kadota y black misión. *Producción Agrícola – AGROFAZ*, VOL. 12, 3.
- Baligar V.C. and N.K. Fageria (2014). Nutrient Use Efficiency in Plants: An Overview: In: *Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances*. A. Rakshit, H. B. Singh and A. Sen (eds.). Springer, New Delhi. pp:1-14.
- Baligar, V. C., N. K. Fageria and Z. L. He (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:921-950, <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>
- Bertsch Floria, (2003). Absorción de Nutrientos por los cultivos, Asociación Costarricense de la ciencia de suelo., San José Costa Rica, p. 6
- Brien, J., and Hardy, T. S., (2002). AGFACTS AGFACTS AGFACTS.
- Castellanos J.Z., Uvalle B.J.X., Aguilar S.A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Intagri.
- El-Shazly, S. M., Mustafa, N. S., and El-Berry, I. M. (2014). Evaluation of Some Fig Cultivars Grown under Water Stress Conditions in Newly Reclaimed Soils. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21(8), 1167-1179.

- FAO. Food and Agricultural Organization. (2018). FAOSTAT. Estadísticas de producción de higo. [http://faostat3.fao.org/browse /Q/QC/E](http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E) (Fecha de consulta: marzo de 2018).
- Malvi, U. R. (2011) Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24:106-109.
- Melgarejo P., Martínez J.J., Hernández F., Salazar D.M., Martínez R. 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 111: 255–259.
- Mendoza Castillo, V. M., (2013). Fisiología y manejo de la higuera (*Ficus carica* L.) en producción forzada bajo cubierta plástica.
- Nieto Cabrera, C., Jarrín Aguirre, P., y Pinto Esparza, N., (2007). El Higo: Manual de Producción, Uso y Aprovechamiento.
- Pereira, C., Serradilla, M. J., Martín, A., del Carmen Villalobos, M., Pérez-Gragera, F., and López-Corrales, M. (2015). Agronomic behaviour and quality of six fig cultivars for fresh consumption. *Scientia Horticulturae*, 185, 121-128.
- Rodríguez Tapia, J. L., (2012). La higuera (*Ficus carica* L.), su cultivo y usos. CITRIFRUT.
- Rodríguez, H. M., Castorena, M. M. V., Villalobos, A. M., Valle, M. A. V., González, M. R., y Talavera, M. D. C. P., (2013). Enraizamiento y brotación de vareta de higuera en contenedores de plástico cerrados: RESULTADOS PRELIMINARES. *AGROFAZ*, 13(2).

SIAP (2018). Sistema de información agroalimentaria y pesquera. SAGARPA.
2018. Producción agrícola por estado. www.siap.gob.mx.

Stover, E., Aradhya, M., Ferguson, L., and Crisosto, C. H. (2007). The fig: overview of an ancient fruit. *HortScience*, 42(5), 1083-1087.

CAPITULO 2

Variación estacional de la concentración foliar de nutrimentos en huertas de higuera (*Ficus carica* L.) bajo sistemas de producción intensiva

<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1272>

Sellenne Yuridia Márquez-Guerrero¹

Uriel Figueroa-Viramontes^{2†},

José Antonio Cueto-Wong²

Jesús Guadalupe Arreola-Avila¹,

Jorge Artemio Zegbe-Dominguez³,

Ricardo Trejo-Calzada¹.

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. CP 35230. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Blvd. José Santos Valdez 1200 pte., Matamoros, Coahuila, México. CP 27440. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Apartado Postal No.18. CP 98500, Calera de V.R., Zacatecas. México.

†Autor para correspondencia: figueroa.uriel@inifap.gob.mx

2.1 Resumen

Con el objetivo de investigar la fluctuación en la concentración foliar de nutrimentos durante la estación de crecimiento, se llevó a cabo un estudio en cuatro huertas de higuera con sistemas de producción intensiva, en la Comarca Lagunera, Durango, México. Se realizó una caracterización del suelo, así como un muestreo y análisis foliar mensual, de abril a octubre, de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y Ni. Con respecto a la concentración foliar de nutrimentos, en la mayoría de los casos no mostraron diferencias significativas entre huertas, dentro de cada fecha de muestreo. La concentración foliar de N, Mg y Zn fue más alta al inicio del ciclo (abril – mayo), y después bajó durante el ciclo. Por otro lado, la concentración de P, Ca, Cu y Ni presentaron una concentración más baja al inicio que al final del ciclo, mientras que K, Fe y Mn no obtuvieron una tendencia definida durante la temporada. Todos los nutrimentos estuvieron dentro de niveles de suficiencia reportados en la literatura, a excepción de Ca y Mg que fueron más bajos, a pesar de lo cual no presentaron síntomas de deficiencia. Se concluyó que esta especie presenta variaciones estacionales grandes durante el ciclo, en la mayoría de los nutrimentos; por lo tanto, es recomendable que la toma de muestras foliares con fines de diagnóstico nutricional se realice en junio, en el periodo entre el término de la cosecha de brevas y antes de cosecha de frutos, que fue cuando se registró menor variabilidad entre huertas.

Palabras claves: Muestreo foliar, producción intensiva, rangos de suficiencia, *Ficus carica* L.

2.2 Abstract

With the objective to know the fluctuation in leaf nutrient concentration during the growing season, a study was carried out in four fig orchards with intensive production systems, in the Comarca Lagunera, Durango, Mexico. A soil characterization was carried out, as well as monthly leaf sampling and analysis, from April to October, of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn and Ni. With respect to the foliar nutrient concentration, in most cases there were not significant differences between orchards, within each sampling date. The foliar concentration of N, Mg and Zn was higher at the beginning of the season (April - May), and then decreased during the season. On the other hand, the concentration of P, Ca, Cu and Ni showed a lower concentration at the beginning than at the end of the cycle, whereas K, Fe and Mn did not show a definite trend during the season. All the nutrients were within the levels of sufficiency reported in the literature, with the exception of Ca and Mg which were lower, despite which there were no deficiency symptoms. It was concluded that this species presents large seasonal variations during the season, in most of the nutrients; therefore, it is recommended that leaf sampling for nutritional diagnosis be made in June, in the period between the end of the harvest of brevas and before harvesting of fruit, which was when there was less variability among orchards.

Key words: Leaf sampling, intensive production, sufficiency ranges, *Ficus carica* L.

2.3 Introducción

La higuera (*Ficus carica* L.) es originaria de Asia central, de donde fue llevada al mediterráneo y de ahí al continente americano (Pereira *et al.*, 2015). La higuera se adapta a una gran variedad de suelos, es tolerante a salinidad y sequía; sus mejores rendimientos se obtienen en áreas con clima seco y cálido en verano y con invierno fresco y húmedo, por lo que es un cultivo típico de las zonas áridas (El-Shazly *et al.*, 2014). Turquía y Egipto ocupan el primer y segundo lugar, con 300 mil y 168 mil t año⁻¹, respectivamente, mientras que México ocupa el lugar 19, con una producción de 7 mil t año⁻¹, en una superficie de 1340 ha localizadas principalmente en los estados de Morelos y Baja California Sur, lo que da un rendimiento de 5.2 t ha⁻¹ (FAO, 2018; SIAP, 2018). En la Comarca Lagunera de Durango hay un total 22 ha de higuera, con sistemas tecnificados de producción; cuentan con riego presurizado, cubiertas plásticas tipo macro túnel para prevenir daños por frío durante el invierno, altas densidades de plantación (2500 árboles ha⁻¹) y poda anual y en verde para mantener la copa del árbol compacta.

La higuera se considera un cultivo marginal, con bajos requerimientos nutrimentales (CONABIO, 2018); sin embargo, estudios como el de Brown (1994) muestra que la concentración foliar nutrimentos esenciales como nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn), presentan cambios a lo largo del ciclo de crecimiento; por ejemplo, en árboles de alto vigor, la concentración de N disminuyó de 2.3 a 1.5%, la de P de 0.14 a 0.09% y K de 1.4 a 0.7% de mayo a octubre (de floración a postcosecha), mientras que la concentración de B aumentó de 65 a 125 y la de Mn de 80 a 150 mg kg⁻¹ en el mismo periodo. En nogal pecanero (*Carya illinoensis*, Wangenh. Koch), que también es una especie frutal

caducifolia, la concentración de N, K, Ca, Mg, azufre (S), boro (B) y Fe aumentó durante el desarrollo de las hojas, mientras que la concentración de Mg y Zn disminuyó durante la formación de cotiledones (Kim y Wetzstein, 2005). Lo anterior enfatiza la importancia de conocer la variación en la concentración de nutrimentos en las huertas con sistemas tecnificados de producción de higo de esta región, lo anterior como apoyo para definir valores de referencia de nutrimentos y épocas de muestreo foliar. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la fluctuación en la concentración de los nutrimentos esenciales N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y níquel (Ni), durante el ciclo anual de crecimiento, en cuatro huertas con sistemas tecnificados de producción de higo. La hipótesis del trabajo fue que la concentración de nutrimentos no difiere significativamente entre huertas, y por lo tanto se pueden generar valores preliminares de referencia a partir del conjunto de datos de todas las huertas.

2.4 Materiales y métodos

Se seleccionaron cuatro huertas en el municipio de Gómez Palacio, Durango, las cuales estaban en su cuarto año de crecimiento; fueron plantadas a inicios del 2012 y empezaron a producir en 2014. Las huertas son: 1) Vergel-1, en macro túnel con cubierta plástica en invierno; 2) Vergel-2, sin cubierta plástica; 3) Transporte, bajo invernadero con plástico todo el año; 4) Dinamita, sin cubierta plástica. La finalidad de la cubierta plástica es prevenir daños por frío en invierno. Las cuatro localidades se encuentran entre las coordenadas 25°65'48" y 25°77'12" de latitud Norte y entre 103°46'71" y 103°50'11" de longitud Oeste.

Los árboles están plantados a 2 x 2 m, para una densidad de 2,500 plantas ha⁻¹; la copa de los árboles se mantiene compacta mediante poda anual y podas en verde. Tienen un sistema de riego por microaspersión y se aplicó una lámina de riego promedio de 95 cm en el año. Al inicio del ciclo se aplicaron de 1 a 2 kg árbol⁻¹ de composta a base de estiércol de bovino lechero y no se aplicaron fertilizantes químicos convencionales. En cada huerta se tomaron tres túneles como repeticiones y dentro de cada repetición se seleccionaron seis árboles como unidad experimental; los árboles fueron seleccionados tomando como criterio la circunferencia promedio del tronco de 16 cm, medida a 20 cm sobre el nivel del suelo.

Para caracterizar algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en abril de 2015 se tomó una muestra de suelo en cada uno de los árboles seleccionados por repetición; la muestra se tomó dentro del área de goteo de la copa del árbol, a una distancia de 30 cm del tronco y alternando la posición con respecto al tronco. Luego, con las muestras de cada repetición se hizo una muestra compuesta; las profundidades de muestreo fueron 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Las muestras se llevaron al Laboratorio de Análisis de Suelo del Campo Experimental La Laguna, del INIFAP, para su caracterización física y química. Los análisis se realizaron de acuerdo con los protocolos de la NOM-O21- SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2001).

Aunque hay diferencias entre huertas con respecto a los porcentajes de arena y arcilla, el suelo de las cuatro huertas corresponde a la clase textural de arcilla, con más de 45% de arcilla y menos de 32 % de arena en las tres profundidades (Cuadro 1). Los valores de pH están en el rango de 7.6 y 8.1, que corresponden a suelos moderadamente alcalinos, típicos

de los suelos calcáreos de zonas áridas. Con respecto a la salinidad, la CE en la huerta Vergel-1 fue la más alta, con valores de 5.0 a 5.6 dS m⁻¹, por lo que se clasifica como suelo salino. En las demás huertas la CE fluctuó de 2.2 a 3.8 dS m⁻¹ en el estrato de 0-30 cm (Cuadro 1), valores considerados como moderadamente salinos (SEMARNAT, 2000). La materia orgánica (MO) solo se analizó en el estrato de 0-30 cm por considerar que es donde se manifiestan las diferencias al estar aplicando composta. Los valores de MO variaron de 1.3 a 1.86% entre huertas (Cuadro 1); de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, valores de 1.5 % o menos se clasifican bajos en MO, mientras que arriba de 1.5 % son medianos en MO.

La concentración de N inorgánico en el suelo fue mayor en la huerta Dinamita, con un promedio de 90 mg kg⁻¹, en todo el perfil (0 – 90 cm), seguido por Transporte, Vergel-1 y Vergel-2, con valores de 52, 33 y 26 mg kg⁻¹, respectivamente; los valores en Dinamita y Transporte se clasifican como muy altos, mientras que los de Vergel-1 y Vergel-2 se consideran valores medios (SEMARNAT, 2000). Con respecto a P, la huerta Dinamita tuvo los valores más altos, con 27.3 mg kg⁻¹ en promedio de 0 a 90 cm, seguido por Vergel-1, Vergel-2 y Transporte con promedios de 10.8, 8.0 y 4.6 mg kg⁻¹, respectivamente. Valores de P en suelo mayores de 11 mg kg⁻¹ se consideran altos, mientras que valores menores de 5.5 mg kg⁻¹ se consideran bajos (SEMARNAT, 2000). La concentración de K fue de alta (> 0.6 Cmol(+) kg⁻¹) en todas las huertas y en todo el perfil. El Ca tuvo una concentración alta (> 10 Cmol(+) kg⁻¹) en todos casos, excepto en la huerta Transportes a 60-90 cm, donde alcanzó un valor medio con 8.6 Cmol(+) kg⁻¹. De igual manera, el Mg

tuvo un promedio de 4.4 (\pm 0.4) Cmol(+) kg⁻¹, considerado también como alto (SEMARNAT, 2000).

Las concentraciones de Fe y Zn en todo el perfil de las cuatro huertas se clasificaron como deficientes, con menos de 2.5 Cmol(+) kg⁻¹ de Fe y menos de 0.5 Cmol(+) kg⁻¹ de Zn (NOM-021-SEMARNAT-2000). La concentración de Cu se clasifica como adecuada ($>$ 0.2 Cmol(+) kg⁻¹) en todos los casos, excepto a 30-90 cm en la huerta Dinamita, donde fue deficiente ($<$ 0.2 Cmol(+) kg⁻¹); en el caso de Mn, la concentración fue adecuada ($>$ 1.0 Cmol(+) kg⁻¹) en todos los casos, excepto en Vergel-2 a 60-90 cm, que fue deficiente con menos de 1.0 Cmol(+) kg⁻¹ (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Cuadro 2.1. Caracterización física – química del suelo de las huertas de higuera seleccionadas en el estudio.

Huerta	Profundidad	Limo	Arena	Arcilla	pH	CE _e	MO	N inorg.	P Olsen	K
	cm		--- % ---			mS cm ⁻¹	%	---- mg kg ⁻¹ ----		Cmol(+) kg ⁻¹
Dinamita	0-30	25.3	28.4	46.3	7.6	3.0	1.52	126.1	41.3	2.5
	30-60	24.9	28.7	46.5	7.8	2.0		80.4	26.1	2.4
	60-90	22.3	32.4	44.3	7.9	1.5		65.7	14.6	2.2
Transportes	0-30	20.9	20.4	58.7	7.8	2.2	1.30	62.5	6.4	2.1
	30-60	20.2	17.3	62.4	7.7	3.6		42.5	3.0	1.5
	60-90	20.8	21.7	55.4	7.6	3.2		51.5	4.5	1.0
Vergel 1	0-30	24.6	24.2	47.5	7.9	5.1	1.86	35.2	18.4	3.1
	30-60	26.0	23.9	49.7	7.8	5.6		33.6	6.4	3.2
	60-90	24.0	26.6	47.1	7.9	5.0		30.5	7.6	2.9
Vergel 2	0-30	27.4	24.7	48.4	7.9	3.8	1.50	24.7	8.6	2.4
	30-60	29.0	18.5	53.0	8.1	4.8		30.5	9.0	3.1
	60-90	28.1	22.7	45.9	8.0	5.2		22.6	6.4	4.0

Cuadro 2.1. (Continuación).

Huerta	Profundidad	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	cm	--- Cmol(+) kg ⁻¹ ---			----- mg kg ⁻¹ -----		
Dinamita	0-30	13.1	4.1	1.01	0.49	11.43	0.21
	30-60	16.3	4.3	0.69	0.07	8.52	0.18
	60-90	18.0	4.2	0.89	0.06	4.75	0.12
Transportes	0-30	15.0	5.2	0.95	0.28	7.54	0.15
	30-60	26.4	4.5	0.78	0.30	3.83	0.13
	60-90	8.6	3.8	0.65	0.27	1.86	0.11
Vergel 1	0-30	28.9	4.7	0.25	0.40	8.63	0.26
	30-60	13.5	4.8	0.46	0.38	2.19	0.13
	60-90	13.4	4.3	0.21	0.44	1.54	0.13
Vergel 2	0-30	19.9	4.2	0.56	0.34	4.99	0.21
	30-60	15.0	4.4	0.48	0.38	2.64	0.15
	60-90	10.6	4.5	0.41	0.36	0.68	0.12

Los muestreos foliares se realizaron mensualmente en cada uno de los árboles seleccionados en las cuatro huertas, de abril a octubre de 2015. Se tomaron tres hojas de cada árbol, de tres brotes diferentes, con el criterio de muestrear la hoja más joven completamente expandida en brotes del año, seleccionados al azar dentro del árbol; luego se obtuvo una muestra compuesta al combinar las 18 hojas de los seis árboles de cada repetición. Las muestras se lavaron con agua desmineralizada dos veces y luego se secaron a peso constante en estufa de aire forzado a 65° C, para posteriormente molerlas hasta pasar una malla 0.5 mm. Se analizó N por el método micro Kjeldhal, P por el método colorimétrico con molibdato-vanadato; K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y sodio (Na) por digestión ácida en horno de microondas y análisis en absorción atómica (Perkin Elmer modelo AA-700). Las técnicas de análisis se realizaron según Kalra (1998). Los análisis

se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelo del Campo Experimental La Laguna, del INIFAP. Se realizaron análisis de varianza para detectar diferencias entre huertas, dentro de cada fecha de muestreo. El análisis de la información se realizó con el sistema de análisis estadístico SAS (versión 9.0; SAS Institute, Cary, NC).

2.5 Resultados y discusión

Concentración foliar de macronutrientes. La concentración de N en hoja fue más alta en abril en las cuatro huertas, sin que las diferencias entre ellas fueran significativas. En mayo y agosto las diferencias entre huertas fueron significativas (Cuadro 2); en mayo, las huertas Dinamita y Transporte tuvieron valores más bajos que Vergel-1 y Vergel-2, mientras que, en agosto, Dinamita tuvo valores más altos que Vergel-1 y Transportes (Figura 1). La concentración de N permaneció estable de mayo a octubre en las huertas Dinamita y transporte, y de junio a octubre en Vergel-1 y Vergel-2. En abril, la concentración promedio (\pm desviación estándar) de las cuatro huertas fue de 3.54 ± 0.33 %, mientras que de junio a octubre el promedio fue de 2.54 ± 0.23 %. La disminución de la concentración de N en los primeros meses coincide con el desarrollo de los brotes y hojas, por tanto, la menor concentración de N puede deberse a un efecto de dilución (Tehryung y Wetzstein, 2005). Además, la disminución de N de mayo a junio y de agosto a septiembre puede deberse a la cosecha de brevas y de frutos, respectivamente (Brown, 1994). Dependiendo de la especie de planta, la etapa de desarrollo y órgano, los requerimientos de N para un desarrollo óptimo pueden estar entre el 2 al 5 % (con base seca) de la planta (Marschner, 2012). La tendencia decreciente de la concentración de N coincidió con los resultados de Brown (1994), en árboles de higuera en California, EUA,

aunque las concentraciones indicadas por este autor fueron menores, de 2.3% en mayo (floración) a 1.5% en octubre (poscosecha). Por otro lado, a pesar de las diferencias entre huertas en la concentración de N inorgánico en suelo en el presente estudio (Cuadro 1), el N foliar no varió significativamente en la mayoría de las fechas de muestreo, y durante junio y julio se mantuvo dentro del intervalo de suficiencia de 2.0 a 2.5 % indicado por Jones *et al.* (1991), excepto la huerta Dinamita en julio, que alcanzó 3.1 %, sin que la diferencia sea significativa; lo anterior puede deberse a que la huerta Dinamita tuvo la mayor concentración de N inorgánico en el perfil del suelo (Cuadro 1).

Cuadro 2.2. Valores de probabilidad (p) de que las medias de la concentración foliar de cada nutrimento en las cuatro huertas sean estadísticamente iguales, de acuerdo con el análisis de varianza. Donde hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se anota entre paréntesis el valor de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), con un valor de $\alpha = 0.05$.

Nutrimento	Mes						
	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.
N	0.175	0.001 (0.374)	0.092	0.127	0.036 (0.335)	0.813	0.533
P	0.601	0.032 (0.022)	0.410	0.522	0.337	0.031 (0.112)	0.082
K	0.032 (0.185)	0.009 (0.592)	0.394	0.058	0.076	0.090	0.635
Ca	0.938	0.157	0.258	0.101	0.156	0.055	0.035 (0.574)
Mg	0.509	0.501	0.819	0.421	0.105	0.002 (0.036)	0.005 (0.073)
Fe	0.244	0.773	0.075	0.404	0.046 (104.66)	0.036 (121.2)	0.468
Cu	0.909	0.413	0.019 (2.431)	0.726	0.058	0.261	0.040 (48.95)
Mn	0.827	0.808	0.022 (20.196)	0.473	0.535	0.650	0.021 (12.681)
Zn	0.993	0.007 (5.520)	0.293	0.360	0.100	0.007 (4.558)	0.238
Ni	0.403	0.140	0.541	0.011 (1.415)	0.409	0.201	0.528

El P en la hoja fue relativamente bajo de abril a junio, con un promedio de 0.12 ± 0.03 %; en mayo, las diferencias entre huertas fueron significativas (Cuadro 2), cuando la huerta Transporte tuvo menor concentración de P que las demás (Figura 1). A partir de julio la concentración de P se incrementó y se mantuvo estable hasta octubre, con un promedio de 5.7 ± 0.09 %. En septiembre, la huerta Vergel-2 fue significativamente superior a las demás (Figura 1). El incremento en la concentración de P a partir de julio coincide con la cosecha alta de frutos. Valores altos de P en higuera fueron registrados por Caetano *et al.* (2006), quienes encontraron valores de P de 0.73 % al final de la primavera. Para un crecimiento óptimo de la mayoría de las plantas, el P debe estar en el rango de 0.3 a 0.5 % durante la etapa de crecimiento vegetativo (Marschner, 2012). De acuerdo con Jones *et al.* (1991), el rango de suficiencia de P en higuera es de 0.1 a 0.3 %, lo cual coincide con los valores registrados de abril a junio en todas las huertas, a pesar de las diferencias en P en el suelo (Cuadro 1).

La concentración de K mostró diferencias significativas entre huertas en abril y mayo (Cuadro 2). En abril, el K fue mayor en Dinamita y Vergel-2, con un promedio de 1.86%, mientras que, en mayo, el K fue más alto en las huertas Dinamita y Transporte, que promediaron 2.6 %. A partir de junio, la concentración de K bajo de 2.44 % hasta llegar en septiembre a un promedio similar al de abril, con 1.73 % (Figura 1). Los valores anteriores de K foliar en abril y mayo no tuvieron relación con el K en el suelo, ya que la huerta Dinamita tuvo valores de K en suelo más bajos que Vergel-1 (Cuadro 1) y valores más altos en el follaje. La disminución en los valores de K en hoja coincidió con el periodo de cosecha de frutos, mientras que en octubre se observó un ligero incremento en la

concentración de K, cuando ya es la etapa de postcosecha. Según Marschner (2012), el K, junto con N, es el elemento mineral requerido en mayor cantidad, con un intervalo óptimo entre 2 a 5 % en partes vegetativas. Sin embargo, Jones *et al.* (1991) indican que la concentración de K suficiente para higo es > 1.00 %. El patrón a disminuir la concentración de K a lo largo del ciclo coincide con Brown (1994), aunque este autor obtuvo concentraciones menores, entre 1.4 % en mayo y 0.7 % en octubre. La concentración de K en el suelo fue alta en todas las huertas (Cuadro 1), típico de los suelos arcillosos y alcalinos (Aguado *et al.*, 2002) como los del presente estudio, lo cual puede explicar la alta concentración de K foliar.

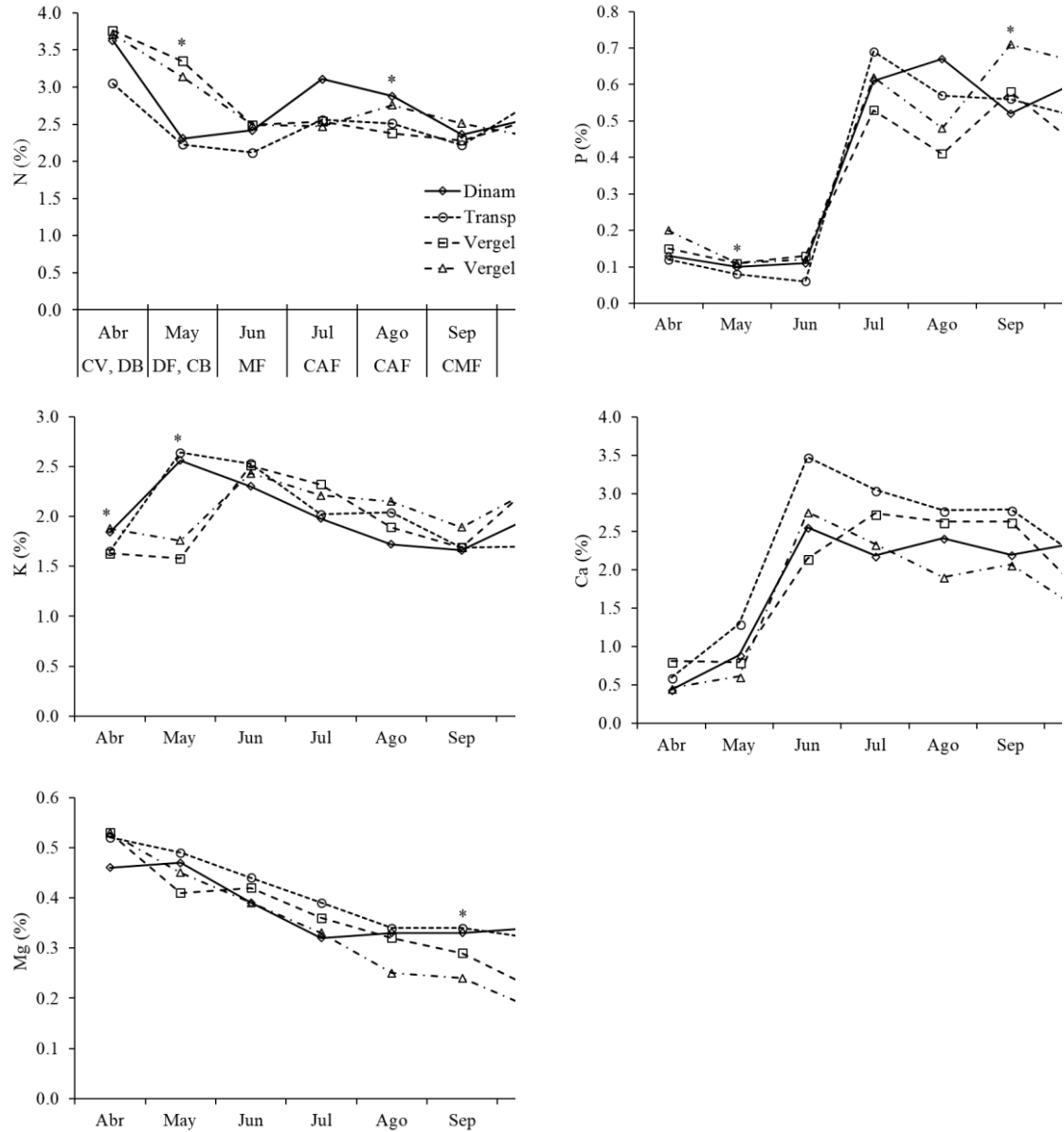


Figura 2.1. Variación estacional de macroelementos en el cultivo de higuera durante el ciclo de producción (CV = crecimiento vegetativo; DB = desarrollo de brevas; DF = desarrollo de frutos; CB = cosecha de brevas; MF = maduración de frutos; CAF = cosecha alta de frutos; CMF = cosecha media de frutos; PC = postcosecha. *Indica diferencia significativa entre huertas, dentro de cada fecha de muestreo, de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), con un valor de $\alpha = 0.05$).

Los valores de Ca fueron bajos en abril y mayo, con un promedio de 0.74 %, para luego incrementarse hasta valores entre 2.15 y 3.48 % en junio. En este periodo se dio el desarrollo y cosecha de brevas, así como desarrollo de los frutos. A partir julio la concentración de Ca disminuyó hasta valores entre 1.5 y 2.36 % en octubre; en este último mes de muestreo las diferencias entre huertas fueron significativas (Cuadro 2), registrándose los valores más altos en Dinamita y Transporte (Figura 1). La concentración de Ca en hoja no se relacionó con el Ca en el suelo, ya que la huerta Dinamita tuvo el segundo valor más bajo y Transporte tuvo el valor más alto (Cuadro 1). Brown (1994) indica que parte de la variabilidad en la concentración de nutrientes al final del ciclo se explica por la removilización de nutrientes fuera de las hojas. Los valores bajos en el presente trabajo (< 2.0 % de Ca) coinciden con Caetano *et al.* (2006), quienes registraron 1.45 %. Jones *et al.* (1991), mencionan una concentración mayor de 3.0 % como suficiente para este cultivo, en muestras tomadas en julio y agosto, similar a lo identificado por Brown (1994), con valores de Ca entre 2.9 y 3.0 % de mayo a septiembre.

Con respecto a la concentración de Mg, en abril se obtuvo un promedio de 0.51 % y a partir de ahí bajo en promedio 0.04 % cada mes, de acuerdo al modelo de regresión lineal ($Mg = -0.0409X + 0.658; r^2 = 0.80$) entre la concentración de Mg, promedio de las cuatro huertas, y el número de mes de muestreo (datos no presentados). Todos los valores anteriores son menores al valor crítico de suficiencia de 0.7 %, señalado por Jones *et al.* (1991) y por Reuter y Robinson (1997), sin embargo, no se observaron síntomas de deficiencia. Marschner (2012) indicó que la concentración óptima de Mg en plantas en general está en el intervalo de 0.15 a 0.35 %. En árboles de higuera en producción, Caetano

et al. (2006) analizaron muestras foliares de higo a inicios de primavera y encontraron valores de Mg (0.59 %) similares a los encontrados en este trabajo en el mes de abril.

Concentraciones foliares de micronutrientes. La concentración foliar de Fe no mostró una tendencia a disminuir o aumentar durante el ciclo de producción. El Fe se mantuvo en concentraciones entre 100 y 500 mg kg⁻¹, sin embargo, en agosto y septiembre las diferencias entre huertas fueron significativas (Cuadro 2); en estos meses, Vergel-1 y Vergel-2 tuvieron las concentraciones más altas, con valores medios de 245 a 318 mg kg⁻¹, los cuales fueron superiores a los reportadas por Brown (1994) y Caetano *et al.* (2006). Por otro lado, de acuerdo con Marschner (2012), los niveles de Fe encontrados en el presente estudio están dentro de parámetros normales para la mayoría de las plantas, el autor señaló que una deficiencia puede estar en el intervalo de 50-150 mg kg⁻¹, mientras que concentraciones mayores de 500 mg kg⁻¹ pueden ser tóxicas para algunas plantas. La alta concentración de Fe en hojas registrada en el presente estudio puede deberse a la aplicación de composta a base estiércol (Nikoli y Matsi, 2011).

La concentración de Cu de abril a junio varió de 2 a 6 mg kg⁻¹, para después incrementarse gradualmente a partir de julio, hasta alcanzar valores promedio de 95 a 100 mg kg⁻¹ en octubre. En octubre, las diferencias entre huertas fueron significativas (Cuadro 2), donde la concentración promedio más baja se registró en la huerta Dinamita (28 mg kg⁻¹). De acuerdo con Marschner (2012) una deficiencia de Cu podría encontrarse entre 1 y 5 mg kg⁻¹, y un efecto por toxicidad en algunas plantas podría detectarse a concentraciones mayores de 30 mg kg⁻¹, aunque hay especies de vegetación natural que pueden tener concentraciones de Cu hasta de 1000 mg kg⁻¹. Sin embargo, Jones *et al.* (1991)

determinaron para higo una concentración de suficiencia $> 4 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu de julio y agosto, sin especificar un nivel crítico tóxico. Al igual que Fe, la alta concentración de Cu encontrada en el presente estudio puede deberse a la aplicación de composta a base estiércol (Nikoli y Matsi, 2011).

La concentración media de Mn mostró diferencias significativas entre huertas en junio y octubre (Cuadro 2). En junio, Vergel-1 y Vergel-2 tuvieron los valores promedio más altos (64 y 67 mg kg^{-1} , respectivamente) mientras que, en octubre, la huerta Dinamita tuvo la concentración promedio más alta (43 mg kg^{-1}). Estas concentraciones son bajas en comparación con lo indicado por Brown (1994) y Caetano *et al.* (2006). Brown (1994), registró valores entre 80 y 165 mg kg^{-1} , en diferentes etapas del ciclo y en arboles con diferente vigor. En contraste, Jones *et al.* (1991) estableció una concentración $> 20 \text{ mg kg}^{-1}$ como un valor de suficiencia en higuera.

La concentración promedio de Zn en abril fue de 44.5 mg kg^{-1} ; a partir de mayo el Zn bajó y se mantuvo en el rango promedio de 30.5 mg kg^{-1} en junio a 22.5 mg kg^{-1} en agosto. En mayo, la concentración de Zn en la huerta Dinamita fue significativamente menor a las demás, mientras que en septiembre, Dinamita y Vergel-1 tuvieron concentraciones más bajas de Zn, con respecto a las otras dos huertas (Cuadro 2). Las concentraciones finales de Zn, son similares al promedio reportado por Caetano *et al.* (2006) en arboles de higuera. Marschner (2012), señaló que generalmente en plantas, una deficiencia de Zn podría presentarse a concentraciones por debajo de 15 a 20 mg kg^{-1} . Sin embargo, Brown (1994) indicó una concentración entre 9 y 12 mg kg^{-1} para árboles de higuera con alta producción.

La concentración de Ni en hoja se mantuvo entre 2 y 6 mg kg⁻¹ de abril a junio, luego aumentó entre 5 y 19 mg kg⁻¹ en julio y agosto, para después disminuir a valores entre 2 y 6 mg kg⁻¹. De acuerdo con Marschner (2012), en la mayoría de las plantas, la concentración de Ni en los órganos vegetativos está en el rango de 1 a 10 mg kg⁻¹. Wood *et al.* (2004) concluyeron que el síntoma visual en nogal pecanero conocido como “oreja de ratón”, se debió a una deficiencia de Ni, el cual puede ser severo a valores menores de 1 mg kg⁻¹. También en nogal, Smith *et al.* (2012) señalan un valor crítico normal de Ni ≥ 2.5 mg kg⁻¹.

En general, se observaron variaciones estacionales grandes en la mayoría de los nutrimentos, sobre todo los elementos menores. Brown (1994), mostró este tipo de variación, por ejemplo, de 80 a 166 mg kg⁻¹ de Fe entre mayo y octubre, o de 190 a 450 mg kg⁻¹ de Mn en los mismos meses de muestreo. De acuerdo con este autor, parte de la variabilidad al final del ciclo se explica por la removilización de nutrientes fuera de las hojas.

Considerando que la mayoría de los nutrimentos no observaron diferencias significativas entre huertas, los promedios mensuales pueden servir como valores de referencia preliminares para árboles en producción. Todos los nutrimentos están dentro de valores de suficiencia reportados por Jones *et al.* (1991) y Reuter y Robinson (1997), excepto Ca y Mg, cuya concentración fue poco más baja que el valor de suficiencia, pero no se observaron síntomas de deficiencia. Jones *et al.* (1991) han sugerido que la mejor época para coleccionar muestras foliares en árboles de higuera es entre julio y agosto, tomando la hoja más joven completamente expandida, en diferentes brotes. Sin embargo, en esos meses se generaliza la cosecha de frutos de higo en esta región, lo cual podría influir en

el contenido de nutrimentos en las hojas. Una época adecuada para esta región puede ser cuando termina la cosecha de brevas y hasta antes de iniciar la cosecha de frutos, que en el presente estudio ocurrió durante junio. Además, en el presente estudio, junio fue cuando se registró menor variación entre huertas (Cuadro 3).

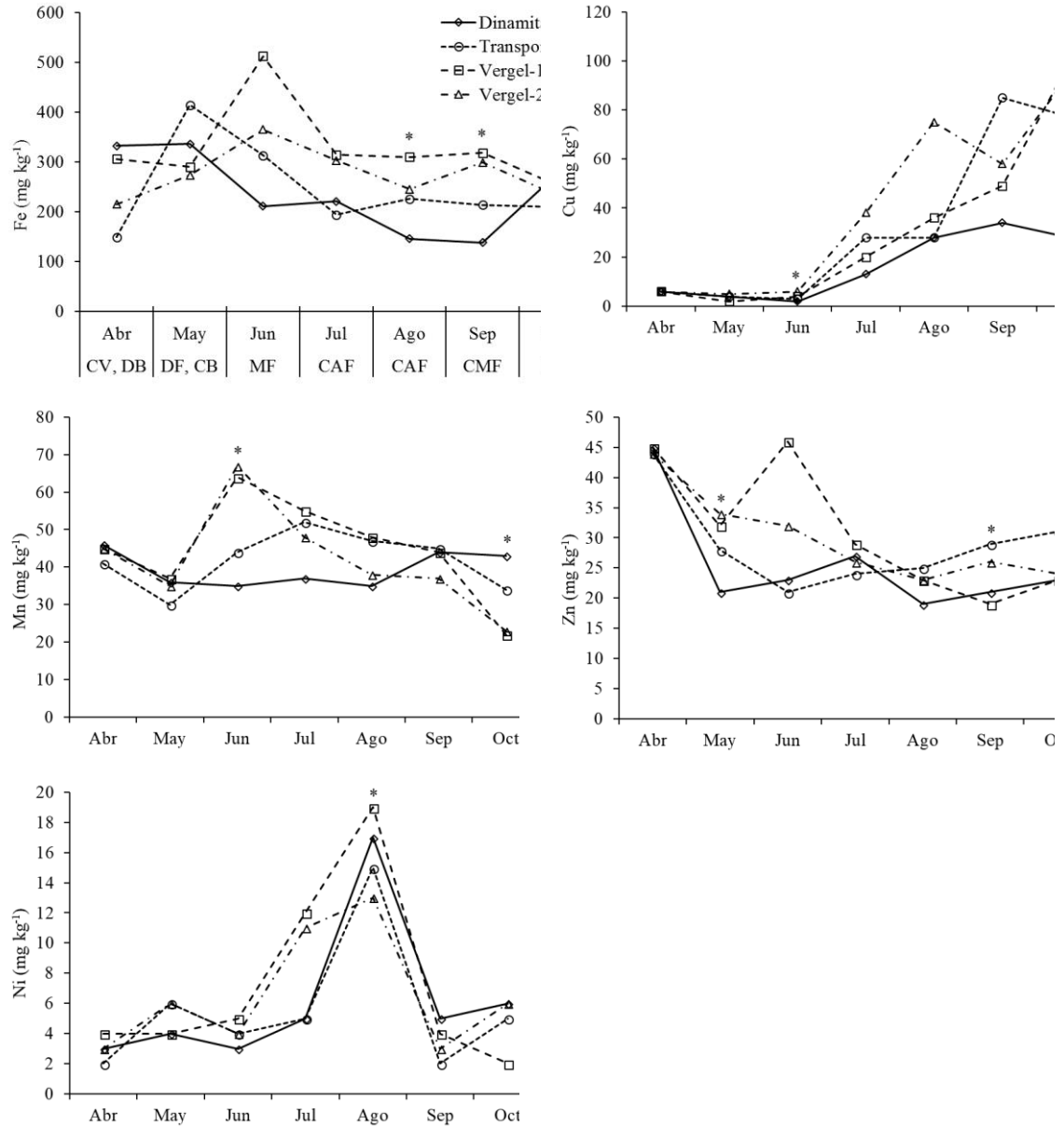


Figura 2.2. Variación estacional de microelementos en el cultivo de higuera durante el ciclo de producción

(CV = crecimiento vegetativo; DB = desarrollo de brevas; DF = desarrollo de frutos; CB = cosecha de brevas; MF = maduración de frutos; CAF = cosecha alta de frutos; CMF = cosecha media de frutos; PC = postcosecha. *Indica diferencia significativa entre huertas, dentro de cada fecha de muestreo, de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), con un valor de $\alpha = 0.05$).

Cuadro 2.3. Valores promedio por mes (\pm desviación estándar) de la concentración de nutrimentos en árboles de higuera.

Mes	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
N (%)	3.54 \pm 0.42	2.76 \pm 0.55	2.38 \pm 0.20	2.67 \pm 0.35	2.63 \pm 0.27	2.34 \pm 0.33	2.56 \pm 0.37
P (%)	0.16 \pm 0.05	0.10 \pm 0.02	0.11 \pm 0.05	0.61 \pm 0.13	0.53 \pm 0.19	0.59 \pm 0.09	0.55 \pm 0.12
K (%)	1.75 \pm 0.14	2.14 \pm 0.55	2.44 \pm 0.17	2.13 \pm 0.19	1.95 \pm 0.23	1.73 \pm 0.12	2.07 \pm 0.54
Ca (%)	0.58 \pm 0.65	0.90 \pm 0.35	2.74 \pm 0.80	2.58 \pm 0.47	2.44 \pm 0.54	2.42 \pm 0.40	1.94 \pm 0.42
Mg (%)	0.51 \pm 0.06	0.45 \pm 0.06	0.41 \pm 0.06	0.35 \pm 0.05	0.31 \pm 0.05	0.30 \pm 0.04	0.26 \pm 0.07
Fe (mg kg ⁻¹)	251 \pm 118	328 \pm 153	350 \pm 173	258 \pm 95	232 \pm 90	242 \pm 104	243 \pm 58
Cu (mg kg ⁻¹)	6.1 \pm 0.8	3.8 \pm 2.1	3.7 \pm 2.0	24.8 \pm 25.4	41.8 \pm 28.1	56.3 \pm 30.7	74.7 \pm 35.2
Mn (mg kg ⁻¹)	44.1 \pm 6.3	34.7 \pm 9.1	52.4 \pm 17.9	47.9 \pm 12.7	41.8 \pm 14.5	42.5 \pm 9.4	30.8 \pm 11.0
Zn (mg kg ⁻¹)	44.6 \pm 4.6	28.8 \pm 5.3	30.3 \pm 16.8	26.5 \pm 3.1	22.7 \pm 3.0	23.7 \pm 4.6	25.3 \pm 5.2
Ni (mg kg ⁻¹)	2.91 \pm 1.29	4.80 \pm 1.59	3.85 \pm 1.62	8.33 \pm 3.89	15.7 \pm 4.16	3.33 \pm 1.56	4.67 \pm 3.23

2.6 Conclusiones

En la mayoría de los elementos, se observó una variación a lo largo del ciclo en su concentración en hojas; N, Mg y Zn obtuvieron concentraciones más altas al inicio, mientras que P, Ca, Cu y Ni ocurrió lo opuesto; en el caso de Fe y Mn, no mostraron una tendencia definida. En general, no se observaron diferencias significativas entre huertas, con respecto a la concentración de nutrimentos, para cada fecha de muestreo. Todos los nutrimentos estuvieron dentro de los niveles de suficiencia indicados en la literatura con excepción a Ca y Mg, sin embargo, no se observaron síntomas de deficiencia. Es recomendable tomar las muestras foliares durante junio, ya que en este mes la mayoría de los elementos se observó menor variación entre huertas y es la época en que no hay cosecha de brevas ni de higos.

2.7 LITERATURA CITADA

- Aguado L., G., J. D. Etchevers, C. Hidalgo M., A. Galvis S. y G. A. Aguirre. 2002. Dinámica de potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia* 36: 11-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236102>.
- Brown, P. H. 1994. Seasonal variations in fig (*Ficus carica* L.) leaf nutrient concentrations. *HortScience*. 29(8):871-873. <http://hortsci.ashspublications.org/content/29/8/871.short>.
- Caetano, L. C. S., De Carvalho, A. J. C., and Jasmim, J. M. 2006. Preliminary report on yield productivity and mineral composition of the fig tree as a function of boron and cattle manure fertilization in Brazil. *Fruits*. 61(5): 341-349. Doi: 10.1051/fruits:2006033.
- Castellanos, J.Z., Uvalle J.X., Aguilar A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y aguas. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Colección INCAPA. 2a Edición. Celaya, Guanajuato. México. 226 p.
- CONABIO. 2018. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/50-morac5m.pdf.
- El-Shazly, S. M., Mustafa, N. S., and El-Berry, I. M. 2014. Evaluation of Some Fig Cultivars Grown under Water Stress Conditions in Newly Reclaimed Soils.

Middle-East Journal of Scientific Research. 21(8): 1167-1179. Doi:
10.5829/idosi.mejsr.2014.21.08.21680.

FAO. 2018. Food and Agricultural Organization. Estadísticas de producción de higo.
<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>.

Grieve, C. M., Grattan, S. R., and Maas, E. V. 2012. Plant salt tolerance. In: Wallender, W.W. and Tanji, K.K. (eds.). ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71. Agricultural Salinity Assessment and Management (2nd Edition). ASCE, Reston, VA. Chapter 13 (pp. 405-459).
https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/20360500/pdf_pubs/P2246.pdf.

Jones, J. B., Wolf, B., and Mills, H. A. 1991. Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Ga., USA. 213 p.

Kalra, Y. 1997. Handbook of reference methods for plant analysis. 1^a edition, CRC press. Boca Raton, FL., USA. 287 p.

Kim, T., and Wetzstein, H. 2005. Seasonal fluctuations in nutrients and carbohydrates in pecan leaves and stems. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 80(6): 681-688. Doi:10.1080/14620316.2005.11511998.

Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3th ed. Academic Press, San Diego, USA. 651 pp.

- Melgarejo, P., Martínez, J.J., Hernández, F., Salazar, D.M., and Martínez, R. 2007. Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae*. (111): 255–259. Doi:10.1017/S0014479716000405.
- Mendoza, V., Vargas, J., Calderón, G., Mendoza, M., and Santacruz, A. 2017. Intensive Production Systems of fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. *Experimental Agriculture*. 53(3): 339-350. Doi:10.1017/S0014479716000405.
- Nikoli, T. and Matsi, T. 2011. Influence of Liquid Cattle Manure on Micronutrients Content and Uptake by Corn and their Availability in a Calcareous Soil. *Agronomy Journal*. 103(1):113-118. doi:10.2134/agronj2010.0273
- Pereira, C., Serradilla, M. J., Martín, A., Villalobos, M., Pérez, F., and López, M. 2015. Agronomic behaviour and quality of six fig cultivars for fresh consumption. *Scientia Horticulturae*. (185): 121-128. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.01.026.
- Pond, A. P., Walworth, J. L., Kilby, M. W., Gibson, R. D., Call, R. E., and Núñez, H. 2006. Leaf nutrient levels for pecans. *HortScience*. 41(5): 1339-1341. <http://hortsci.ashspublications.org/content/41/5/1339.short>.
- Reuter, D., and Robinson, J. B. (Eds.). 1997. *Plant analysis: an interpretation manual*. 2^a edition, CSIRO publishing. Collingwood, Vic., Australia. 570 p.

Santamaría-César, J., Reta-Sánchez, D. G., Chávez-González, J. F. J., Cueto-Wong, J. A., y Rubio, J. R. P. 2006. Caracterización del medio físico en relación a cultivos forrajeros alternativos para la Comarca Lagunera. 1ª edición, Libro Técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coah., México. 254 p.
<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1944/Caracterizacion%20del%20medio%20fisico%20en%20relacion%20a%20cultivos%20forrajeros%20alternativos%20para%20la%20comarca%20lagunera.pdf?sequence=1>

SEMARNAT, 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>.

Serrato Sánchez, R., Ortiz Arellano, A., Dimas López, J., y Berúmen Padilla, S. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra Latinoamericana*, 20(3): 329-336.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320312>> ISSN.

SIAP. 2018. Sistema de información agroalimentaria y pesquera. SAGARPA. Producción agrícola por estado. <https://www.gob.mx/siap>.

Smith, M. W., Rohla, C. T., and Goff, W. D. 2012. Pecan leaf elemental sufficiency ranges and fertilizer recommendations. *HortTechnology*. 22(5): 594-599.
<http://horttech.ashspublications.org/content/22/5/594.full.pdf+html>.

Tarango, H. 2012. Manejo del nogal pecanero con base en su fenología. 3ª edición, Folleto Técnico núm. 24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Delicias. Delicias, Chihuahua, México. (33 p).
http://www.comenez.com/assets/manejo_del_nogal_pecanero_con_base_en_su_fenologia1.pdf.

Tehryung, K. and Wetzstein, H. 2005. Seasonal fluctuations in nutrients and carbohydrates in pecan leaves and stems. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 80:6, 681-688, DOI: 10.1080/14620316.2005.11511998

Wood, B. W., Reilly, C. C., and Nyczepir, A. P. 2004. Mouse-ear of pecan: a nickel deficiency. *HortScience*. 39(6), 1238-1242.
<http://hortsci.ashspublications.org/content/39/6/1238.full.pdf+html>.

CAPÍTULO 3

CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL FOLIAR Y BIOMASA DEL HIGO

‘BLACK MISSION’ MODIFICADO POR LA APLICACIÓN DE NPK

NUTRIMENTAL FOLIAR CONCENTRATION AND BIOMASS OF 'BLACK

MISSION' FIG MODIFIED BY THE APPLICATION OF NPK

TITULO BREVE: CONCENTRACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES Y

FERTILIZACIÓN MINERAL

Sellenne Yuridia Márquez-Guerrero¹, Uriel Figueroa-Viramontes³, Jorge A.

Zegbe^{2*}, Jesús Guadalupe Arreola-Avila¹, José Antonio Cueto-Wong², Ricardo

Trejo-Calzada¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Bermejillo, Durango, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,

Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo

Experimental Zacatecas, Calera de Víctor R., Zacatecas.

**Autor por correspondencia (zegbe.jorge@inifap.gob.mx)*

CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL FOLIAR Y BIOMASA DEL HIGO 'BLACK MISSION' MODIFICADO POR LA APLICACIÓN DE NPK

3.1 RESUMEN

Información sobre la influencia de la fertilización mineral en la concentración foliar de nutrientes (CFN) y biomasa total (BT) del higo, es limitada. El objetivo fue probar una matriz completa de nitrógeno-fósforo-potasio (NPK) y su efecto en la CFN y BT de plantas de higo 'Black Mission' cultivadas en ambiente protegido. El experimento ensayo consistió en la aplicación de tres niveles de N (0, 80 y 160 kg ha⁻¹), P (0, 40 y 80 kg ha⁻¹) y K (0, 80 y 160 kg ha⁻¹). El experimento se condujo en un diseño experimental en bloque completos al azar con arreglo factorial en los tratamientos con cuatro repeticiones. La BT, en términos de masa seca de cada planta (la raíz incluida), y las muestras foliares ($n = 108$) se recolectaron durante postcosecha. En estas últimas, se determinaron valores de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y Na. El valor más alto de BT (≈ 140 g masa seca) lo produjo la interacción de 80 kg ha⁻¹ de N, 40 kg ha⁻¹ de P y 0 kg ha⁻¹ de K. Esta dosis tuvo CFN de: N 2.8 %, P 0.1 %, K 1.5 %, Ca 1.4 %, Mg 0.36 %, Fe 191 mg kg⁻¹, Cu 6 mg kg⁻¹, Mn 100 mg kg⁻¹, Zn 27 mg kg⁻¹, y Na 1 500 mg kg⁻¹. Estos valores que podrían utilizarse como referencia nutricional para higo. La eficiencia agronómica en el uso de nutrientes sugiere que a dosis mayores de N x P a la indicada arriba, limitarían la BT. También, se observó que la interacción de N x P coadyuvó positivamente en la regulación foliar del Na⁺. Así, la dosis de 80 kg N ha⁻¹ y 40 kg P ha⁻¹ puede ser utilizada en la producción comercial de higo; pero en este último aspecto, se requiere más investigación.

Palabras clave: *Ficus carica* L., macronutrientes, micronutrientes, eficiencia agronómica en el uso de nutrientes.

3.2 SUMMARY

Information over the influence of the mineral fertilization on foliar nutrient concentrations (FNC) and total biomass (TB) is limited. The objective was to test a complete nitrogen-phosphorus-potassium (NPK) matrix and its effect on the FNC and TB of 'Black Mission' fig plants grown in a protected environment. The essay consisted in the application of three levels of N (0, 80 and 160 kg ha⁻¹), P (0, 40 and 80 kg ha⁻¹) and K (0, 80 and 160 kg ha⁻¹). The experiment was conducted in a randomized complete block design with a factorial arrangement in treatments with four repetitions. The TB, in terms of dry weight of each plant (the root included), and the foliar samples ($n = 108$) were collected during postharvest. In the latter samples, values of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, and Na were determined. The highest value of TB (≈ 140 g dry mass) was produced by the interaction 80 kg ha⁻¹ of N, 40 kg ha⁻¹ of P, and 0 kg ha⁻¹ of K. This dose had a FNC of: N 2.8 %, P 0.1 %, K 1.5 %, Ca 1.4 %, Mg 0.36 %, Fe 191 mg kg⁻¹, Cu 6 mg kg⁻¹, Mn 100 mg kg⁻¹, Zn 27 mg kg⁻¹, y Na 1 500 mg kg⁻¹. These values could be used as nutritional reference for fig. The agronomic efficiency in the use of nutrients suggests that at higher doses of N x P than indicated above, they would limit TB. In addition, it was observed that the interaction of N x P contributed positively in the foliar regulation of Na⁺. Thus, the dose of 80 kg N ha⁻¹ and 40 kg P ha⁻¹ can be used in the commercial production of fig; but in latter topic, more research is required.

Index words: *Ficus carica* L, macronutrients, micronutrients, agronomic efficiency in the use of nutrients.

3.3 INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ficus carica* L.) ha sido uno de los primeros árboles frutales cultivados mundialmente para consumo del fruto fresco y seco (Solomon *et al.*, 2006). Turquía es el principal país productor de higo con 300 mil t año⁻¹ (FAO, 2018); mientras que México es el décimo noveno país productor de esta fruta en una superficie de 1,340 ha con un rendimiento de 5.2 t ha⁻¹ y donde el 70% de la producción se concentra en el Edo. de México y Baja California Sur (SIAP, 2018). La higuera es tolerante a la sequía y salinidad, por lo que este cultivo se adapta bien a diferentes tipos de climas y suelos (Crisosto *et al.*, 2011). La tolerancia de esta planta a la salinidad es tal que, mimetiza los síntomas por consumo superfluo de nutrientes (Irget *et al.*, 2008).

El interés mundial por cultivar higo, ha llevado al desarrollo de técnicas de producción intensiva (Melgarejo *et al.*, 2007). Estos últimos autores, a nivel experimental lograron 80 t ha⁻¹ de higo cultivado bajo cubiertas plásticas en España; mientras que, en México, Mendoza-Castillo *et al.* (2017) incrementaron la productividad del higo en 20 veces bajo un sistema de agricultura protegida, intensivo e hidropónico que en plantaciones a cielo abierto. Sin embargo, a nivel mundial, la respuesta del higo a la aplicación de N, P, y K, poco ha sido estudiado en relación al rendimiento, componentes de rendimiento, calidad del higo (Irget *et al.*, 2008) y concentraciones foliares de macro y micronutrientes (Mordoğan *et al.*, 2013). De hecho, la higuera es considerada como un cultivo marginal, poco exigente en sus necesidades nutrimentales (CONABIO, 2018). Esta última idea podría ser apoyada por el estudio de Mordoğan (2013). Este último autor, no encontró alternaciones significativas en las concentraciones foliares de N, P, K, Ca y Mg en plantas

de higo tratadas o no tratadas con fertilización orgánica; pero, en contraste, observó que la fertilización orgánica, mejoró el vigor de las plantas. El éxito del aprovechamiento del uso de fertilizantes químicos, para alcanzar el máximo rendimiento esperado de un cultivo, puede estar asociado por las relaciones sinérgicas y antagonistas, que son responsables de la absorción, asimilación, transporte y utilización eficiente de los nutrientes (Malvi, 2011). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización mineral con una matriz completa de N, P y K sobre la concentración foliar de marco y micronutrientes y producción de biomasa total de plantas de higo cultivadas bajo un sistema intensivo en ambiente protegido.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Sitio experimental y material vegetal

El experimento se condujo de abril a noviembre del 2016 en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP, en Matamoros, Coah., México (25°31'56.8" LN y 103°14'29.9" LO), donde se evaluó la respuesta de plántulas de higuera (*Ficus carica* L.) a la aplicación inorgánica de N, P y K, bajo sistema intensivo de producción y malla sombra con atenuación por luz al 50%.

Se utilizaron plantas de higo cv. 'Black Mission' de dos años de edad propagadas por estaca. Las estacas de 20 cm de longitud se colectaron de un árbol en producción. Previo al enraizamiento, estas fueron embebidas en una solución con 2 000 ppm de ácido indol acético. Posteriormente fueron puestas en cama caliente con perlita como sustrato, en un cajón de madera de 1 x 2 x 0.30 m. Las varetas se mantuvieron en la cama por espacio de tres meses a una temperatura de 25° C. Una vez enraizadas y foliadas, las varetas se

pasaron a macetas con capacidad de 8 kg y con arena como sustrato. El material vegetativo se mantuvo por 18 meses en condiciones de invernadero hasta el establecimiento del experimento en donde se utilizaron macetas con capacidad de 20 L y como sustrato arena inerte, la cual fue lavada previo al establecimiento del experimento.

3.4.2 Diseño experimental

Como fuentes de N, P y K se utilizó el sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), ácido fosfórico (H_3PO_4) y cloruro de potasio (KCl), respectivamente. Hubo tres niveles para cada nutriente para conformar una matriz completa de tratamientos bajo un diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo factorial completo en los tratamientos 3^3 (Cuadro 1). Cada tratamiento se asignó aleatoriamente y restringidamente en cada uno de los cuatro bloques. La unidad experimental consistió de una planta por maceta con cuatro repeticiones.

Cuadro 3.1. Matriz de tratamientos a base de NPK aplicados a plantas de higo cv. 'Black Mission' en 2016.

Número de tratamiento	Dosis de nutrición mineral (kg ha^{-1})		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
1	0	0	0
2	0	0	80
3	0	0	160
4	0	40	0
5	0	40	80
6	0	40	160

7	0	80	0
8	0	80	80
9	0	80	160
10	80	0	0
11	80	0	80
12	80	0	160
13	80	40	0
14	80	40	80
15	80	40	160
16	80	80	0
17	80	80	80
18	80	80	160
19	160	0	0
20	160	0	80
21	160	0	160
22	160	40	0
23	160	40	80
24	160	40	160
25	160	80	0
26	160	80	80
27	160	80	160

Las soluciones minerales nutritivas se formaron a partir de tres soluciones nutritivas madre, con los siguientes fertilizantes químicos: solución 1 (Fe 4%, Mn 3%, Cu 0.5 %, Zn 4%, B 1.5%, y Mo 0.05 %), solución 2 (H_3PO_4 a una concentración de 98 g L^{-1}) y solución 3 ($(\text{NH}_4)_2\text{-SO}_4$, 132 g L^{-1} , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 236 g L^{-1} , KCl 74.5 g L^{-1} , CaSO_4 65 g L^{-1} , MgSO_4 246.5 g L^{-1}). Se determinó 1.15 dS m^{-1} de conductividad del agua para el riego del experimento.

Los riegos se efectuaron dos veces por semana, a partir del establecimiento del experimento, suministrando por maceta, la cantidad de agua perdida con base en la información del tanque evaporímetro. El programa de fertilización, con soluciones nutritivas se realizó una vez por semana, a partir de mayo, fraccionando los nutrientes a través del ciclo de crecimiento. La solución 1 (Fe, Mn, Cu, Zn, B y Mo), se aplicó a todos los tratamientos por igual; mientras que, las soluciones 2 (H_3PO_4) y 3 ($(\text{NH}_4)_2\text{-SO}_4$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y KCl , CaSO_4 , MgSO_4), se fraccionaron en tres soluciones para el P y nueve soluciones para N y K.

3.4.3 Variables de respuesta

En noviembre, después del ciclo productivo, a cada planta se le midió altura, diámetro de tallo, número de hojas, número de frutos y diámetro de frutos. La biomasa total (BT), se determinó sumando la masa seca de la raíz, tallo, hojas y frutos. Para el análisis foliar, se colectó una muestra de 4 hojas maduras por tratamiento por repetición. Las hojas se lavaron individualmente con agua desmineralizada dos veces y se secaron a peso contante

en estufa de aire forzado a 65° C, para posteriormente molerlas hasta pasar una malla 0.5 mm. Se analizó N por el método de calcinación, en un analizador de elementos orgánicos Flash 2000, P por el método colorimétrico con molibdato-vanadato; K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y Na por calcinación en mufla y digestión con HCl al 37% y análisis en absorción atómica, en un equipo Perkin Elmer AA-700. Las técnicas de análisis se realizaron según Kalra (1998). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelo del Campo Experimental La Laguna, del INIFAP.

3.4.4 Eficiencia agronómica en el uso de nutrientes

La eficiencia agronómica en el uso de nutrientes (EAUN) se determinó con la siguiente fórmula (Baligar y Fageria, 2014; Baligar, *et al.*, 2001): $EAUN = [BTC (g) - BTS (g)] / \text{Cantidad de fertilizante aplicado (g)} = g g^{-1}$, donde BTC y BTS son la biomasa total de plantas con y sin fertilizante, respectivamente.

3.4.5 Análisis de la información

La información se analizó univariadamente con el modelo lineal en bloques completamente alzar con tres factores usando el procedimiento GML y multivariadamente con la técnica de análisis discriminante canónico con el procedimiento CANDISC del sistema de análisis estadístico SAS (SAS versión 9.2; SAS Institute, Cary, NC). La comparación entre medias de tratamientos se hizo con la prueba del intervalo estudentizado de Tukey ($p \leq 0.05$).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Análisis univariado

El análisis de la información reveló la influencia significativa del efecto principal de N, P y K en la concentración de macro y micronutrientes, excepto para Cu y Zn, y BT. Este efecto fue consistente sólo con la interacción N x P (Cuadro 2). También, se observó que la interacciones N x K alteró la concentración foliar de Ca y Mg y que la concentración foliar del N fue modificada por las interacciones P x K y N x P x K (Cuadro 2).

Cuadro 3.2. Resumen del análisis de la varianza de la influencia de una matriz completa de NPK en la concentración foliar de macro y micronutrientes y biomasa total (BT) en plantas de higo cv. ‘Black Mission’.

Fuentes de variación	Macronutrientes (%)					Micronutrientes(mg kg ⁻¹)					BT(g)
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Na	
N	**	**	*	**	**	**	NS	**	NS	**	**
P	**	**	*	**	**	*	NS	**	NS	**	**
K	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	*	**
N x P	*	**	*	**	**	NS	**	**	NS	NS	*
N x K	NS	NS	NS	**	*	NS	NS	NS	NS	**	NS
P x K	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
N x P x K	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	16.3	21.7	26.4	25.2	12.8	27.9	42.3	31.2	56.5	42.9	28.8

CV = Coeficiente de variación; *, **, NS = nivel de significancia con $p \leq 0.01$, $p \leq 0.001$ o no significativo, respectivamente

3.5.2 Análisis multivariado

La información parcializada, tanto de los efectos principales como de las interacciones sobre los macros, micronutrientes y BT se redujo multivariadamente con el método de análisis discriminante

canónico (ADC). La prueba de Mahalanobis detectó diferencias ($p \leq 0.0001$) entre tratamientos, mismas que fueron corroboradas con la prueba multivariada Lambda de Wilks ($p \leq 0.0001$). El ADC incluyó cinco variables canónicas (VC) que tuvieron los valores raíz más altos y explicaron el 90% de la separación entre 27 tratamientos producto de la matriz completa de N, P y K. Los coeficientes canónicos estandarizados (CCE) de la primer VC (VCI) indicaron un contraste negativo y positivo entre Mg, Ca y N, P, Mn, respectivamente; mientras que los CCE en la VCII se relacionaron, exclusivamente, con la influencia negativa de K y Na. Estas dos últimas VC explicaron el 64%. La VCIII explicó 12% de la variación, pero resultó redundante; mientras que la VCV reveló un contraste negativo y positivo para Fe y Cu, respectivamente, pero sólo explicó 4% de la separación entre tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3.3. Coeficientes canónicos estandarizados de cinco variables canónicas de la concentración foliar de nutrientes y biomasa total de plantas de higo cv. ‘Black Mission’.

Variables de Respuesta	Variables canónicas				
	I	II	III	IV	V
Biomasa total	0.04	0.42	-0.46	1.17	-0.57
Nitrógeno	0.70	-0.50	-0.37	-0.10	-0.45
Fósforo	0.99	1.72	1.65	0.01	-0.64
Potasio	0.34	-0.53	-0.04	-0.25	-1.26
Calcio	-0.76	-0.59	1.74	1.51	-0.07
Magnesio	-1.24	2.22	-0.32	0.37	0.60
Fierro	0.09	0.23	-0.27	-0.34	-0.89
Cobre	-0.18	-0.12	0.31	-0.01	0.90
Manganeso	0.94	-0.06	-0.12	0.59	1.05

Zinc	-0.13	-0.29	-0.12	-0.02	0.23
Sodio	0.24	-0.63	-0.21	-0.66	-0.07
Correlación canónica	0.97	0.90	0.88	0.85	0.74
Significancia (p > F)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Valor raíz	15.4	4.2	3.6	2.6	1.3
Varianza (%)	51	14	12	9	4

Los valores canónicos promedio de las dos primeras VC formaron cinco grupos de tratamientos de fertilizantes minerales. Los Grupos uno y dos estuvieron caracterizados por mayores y menores concentraciones de N, P y Mn y Ca y Mg, respectivamente (Figura 1, Cuadrantes I y II). El Grupo tres tuvo menos concentración de N, P y Mn, pero mayor contenido de Ca y Mg y K y Na que los dos primeros Grupos (Figura 1, Cuadrante III). En el Grupo cuatro los tratamientos se dispersaron a lo largo del origen, y por lo tanto observaron valores intermedios de N, P y Mn entre los Grupos uno y dos y tres, pero con concentraciones mayores de Ca y Mg que los dos primeros Grupos. El grupo cinco tuvo menores y mayores concentraciones de N, P y Mn y Ca y Mg, respectivamente que los dos primeros Grupos; mientras que las concentraciones de K y Na fueron mayores en este Grupo que en los dos primeros (Figura 1, Cuadrante IV).

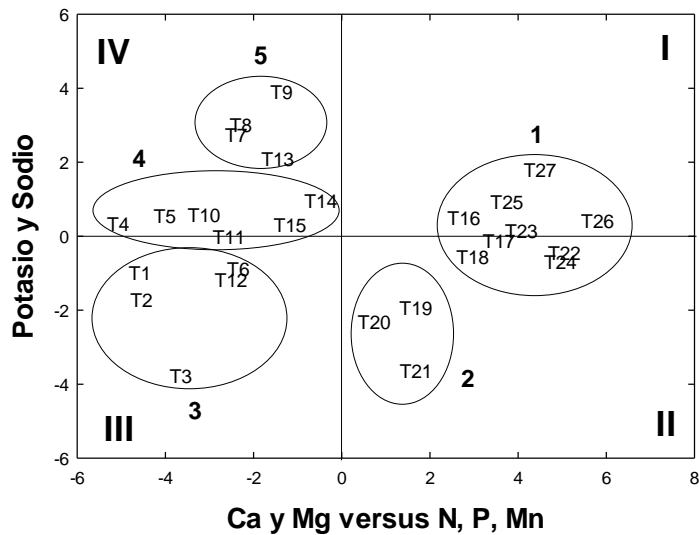


Figura 3.1. Valores canónicos promedios de las dos primeras variables canónicas de 10 nutrientes en la agrupación de 27 tratamientos de fertilizantes minerales producto de una matriz completa de N (0, 80, 150 kg ha⁻¹), P (0, 40, 80 kg ha⁻¹) y K (0, 80 y 160 kg ha⁻¹) en plantas de higo cv. ‘Black Mission’.

3.5.3 Interacciones entre N, P y K

Uno de los objetivos de este estudio fue estudiar el efecto de la matriz completa de NPK sobre la BT. Este último se alcanzó cuando al ADC se estudió tridimensionalmente. Así, la relevancia de las interacciones N x P y N x P x K se expresó al estudiar la cuarta VC junto con la primera y segunda VC. La VC IV estuvo dominada por la biomasa total (BT), en donde los tratamientos sobresalientes fueron T13 (80-40-0) y T23 (160-40-80) (Figura 2A). Por lo tanto, La interacción N x P (representada por T13) sugirió que la adición de 80 kg N ha⁻¹ y 40 kg P ha⁻¹ produjo el valor más alto de BT (Figura 2B). En consecuencia, la consideración de las interacciones P x K y N x P x K y N x K en la concentración foliar de N y Ca y Mg, respectivamente, resultaron redundantes, porque las concentraciones foliares de

macros y micronutrientes alcanzadas con la interacción N x P se aproximaron a las indicadas para plantas de higo cvs. ‘Calimyrna’ y ‘Sari Lop’ (Brown, 1994). En consecuencia, el otro objetivo de determinar la concentración foliar de marco y micronutrientes se alcanzó con la interacción N x P.

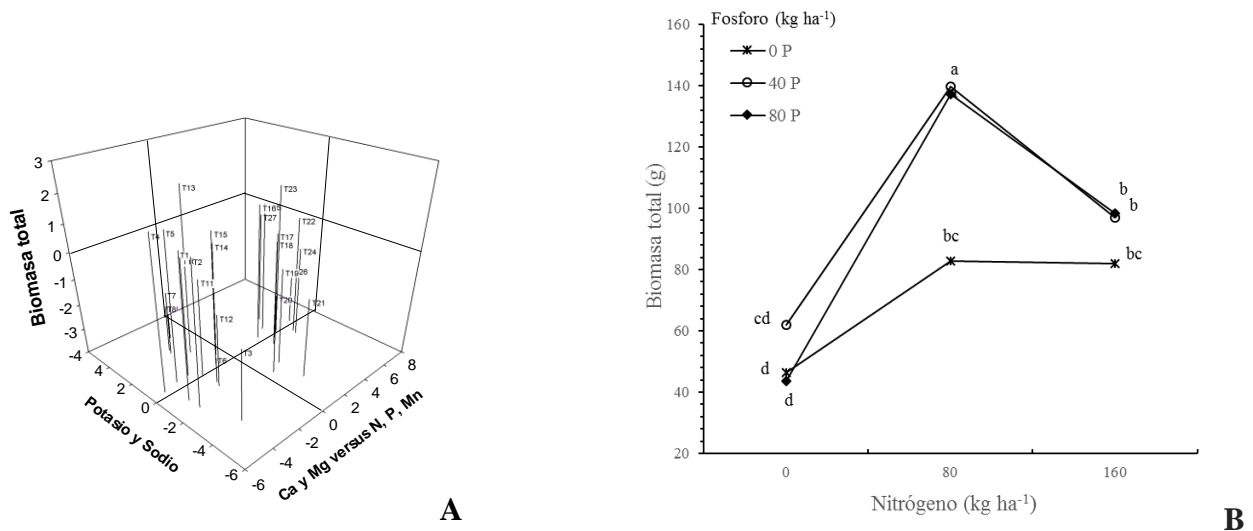


Figura 3.2. Valores canónicos promedio de las variables canónicas I, II y IV de 10 nutrientes y biomasa total en la agrupación de 27 tratamientos de fertilizantes minerales producto de una matriz completa de N (0, 80, 160 kg ha⁻¹), P (0, 40, 80 kg ha⁻¹) y K (0, 80 y 160 kg ha⁻¹) (A) e interacción N x P (B) en plantas de higo cv. ‘Black Mission’.

Así, los valores de macro y micronutrientes registrados en esta investigación podrían ser tomados como referencia (Cuadro 4). Nótese que a mayor adición de 80 kg N ha⁻¹ y 40 kg P ha⁻¹, la concentración foliar de N tiende a incrementarse, mientras que lo opuesto ocurre las concentraciones foliares de P, K, Ca y Mg. Similarmente, las concentraciones foliares de Fe, Zn y Na incrementan; mientras que Cu y Mn disminuyen (Cuadro 4). Según Malvi (2011), el suministro óptimo de N garantiza una absorción óptima de K, P, Mg, Fe, Mn y Zn. Sin embargo, en esta investigación la interacción N x P sugiere que la aplicación de N (80 kg ha⁻¹) y P (40 kg ha⁻¹) en disminuyó, en promedio, la concentración foliar de Ca,

Fe, y Na; mientras que lo opuesto ocurrió con la contracción de foliar del resto de los elementos en relación con la adición de fertilizantes minerales (Cuadro 4). Por otro lado, la concentración foliar de K entre 2 y 3 % es suficiente para un desarrollo adecuado de las plantas (Malvi, 2011; Marschner, 2012). Sin embargo, Jones *et al.* (1991) indicaron que para higo una concentración foliar de K > 1.0% sería suficiente para un buen desarrollo de esta planta; mientras que Brown (1994) consignó una concentración de 0.7 ± 0.3 % para hojas de higo en etapa de postcosecha. Las determinaciones foliares de Jones *et al.* (1991), apoyan a esta investigación, ya que la concentración foliar de K, independientemente del tratamiento, fluctuó entre 1.4 ± 0.2 % y 1.5 ± 0.4 % (Cuadro 4), lo cual sugiere que la higuera no requiere de grandes cantidades de fertilización química con K. Sin embargo, esto merece más investigación, sobre todo para aquellas plantaciones en suelo, donde la disponibilidad del este elemento es variable.

Cuadro 4. Influencia de la fertilización mineral (FM) en la concentración promedio de macro y micronutrientes con base en masa seca en hojas de higo cv. ‘Black Mission’ recolectadas en noviembre de 2016. Cada promedio (\pm desviación estándar) se estimó con una muestra foliar por plantas por tratamiento ($n = 108$).

FM (kg ha ⁻¹)	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Na
0-0-0	2.2 \pm 0.4	0.08 \pm 0.01	1.5 \pm 0.4	3.5 \pm 0.2	0.33 \pm 0.1	197 \pm 24	4.2 \pm 1	29 \pm 7	23 \pm 4	1 634 \pm 660
80-40-0	2.8 \pm 0.3	0.10 \pm 0.01	1.5 \pm 0.1	1.4 \pm 0.3	0.36 \pm 0.02	191 \pm 32	6 \pm 2	100 \pm 11	27 \pm 4	1 500 \pm 603
160-40-80	3.4 \pm 0.4	0.30 \pm 0.03	1.4 \pm 0.2	1.4 \pm 0.3	0.2 \pm 0.0	83 \pm 45	7 \pm 2	150 \pm 27	20 \pm 3	1 147 \pm 209

3.5.4 Eficiencia agronómica en el uso de nutrientes (EAUN)

El análisis de la EAUN sugirió que la adición mayor a 80 kg N ha⁻¹, 40 kg P ha⁻¹ de P y 80 kg K ha⁻¹, induce efectos negativos sobre la BT por unidad de nutriente aplicado (Cuadro 5). La sobre-fertilización puede ser vista como consumo superfluo de estos nutrientes por la planta (Figura 2B) y con un incremento simultáneo en los costos de producción. Por otro lado, la aplicación de K a la solución del suelo en las dosis aquí estudiadas produjo que el ADC agrupara a aquellos tratamientos que contenían K en los Grupos del 1 al 4, los cuales resultaron los menos productivos, en términos de BT (Figuras 1 y 2A). Muchas especies de árboles perenes son susceptibles a lesiones foliares causadas por toxicidad que ejerce la acumulación de iones Cl⁻ y/o Na⁺ en las hojas, a pesar de que la higuera, y otros frutales como el olivo y pistacho, se considera tolerante a la salinidad moderadamente alta; sin embargo, esta tolerancia disminuye paralelamente con la edad debido a la acumulación de estos iones en el tejido foliar o leñoso (Grieve *et al.*, 2012). En este estudio, la nula fertilización química con N y P y el suministro de K, favoreció un efecto de acumulación de iones de Na⁺ en la hoja, provocando lesiones de quemaduras en los márgenes de las hojas (datos sin mostrar). En contraste, se observó en las interacciones N x K y P x K con los niveles 80 kg N ha⁻¹ y 80 kg K ha⁻¹ y 40 kg P ha⁻¹ y 80 kg K ha⁻¹ redujeron la concentración foliar de Na⁺ (Figura 3). De hecho, existió una asociación negativa con el N ($r = -0.38$; $p < 0.0001$) y P ($r = -0.32$; $p < 0.001$) aplicados a la solución nutritiva; pero en contraste, la asociación del K aplicado a la solución nutritiva con el Na⁺ foliar resultó baja, positiva y no significativa ($r = 0.18$; $p < 0.06$). Lo anterior sugiere que la aplicación de K en interacción con N y P regulan positivamente concentración foliar de

Na⁺. No obstante que el Na⁺ es móvil dentro de la planta, aquí se usó como sustrato material inerte y una conductividad eléctrica de 1.15 dS m⁻¹ en el agua de riego (riesgo de salinidad media), entonces las altas concentraciones de Na⁺ foliar pudo deberse, en parte, a un fenómeno de dilución, porque hubo una asociación negativa entre BT y Na foliar ($r = -0.55$; $p \leq 0001$).

Cuadro 3.5. Eficiencia de uso de N, P y K en términos de eficiencia de uso agronómico en plantas de higo cv. ‘Black Mission’. En cada nutrimento, letras diferentes dentro de la columna indican diferencias a través del intervalo estudentizado de Tukey con $p < 0.05$.

Dosis de nutrientes minerales (kg ha ⁻¹)	Eficiencia agronómica de uso de nutrientes (g g ⁻¹)
Nitrógeno	
0	—
80	159.6 ^a
160	40.3 ^b
Significancia	0.0001
Diferencia mínima significativa	32.0
Fósforo	
0	—
40	196.8 ^a
80	81.8 ^b
Significancia	0.002
Diferencia mínima significativa	71.4

Potasio	
0	—
80	71.5 ^a
160 ^a	34.3 ^b
Significancia	0.03
Diferencia mínima significativa	33.6

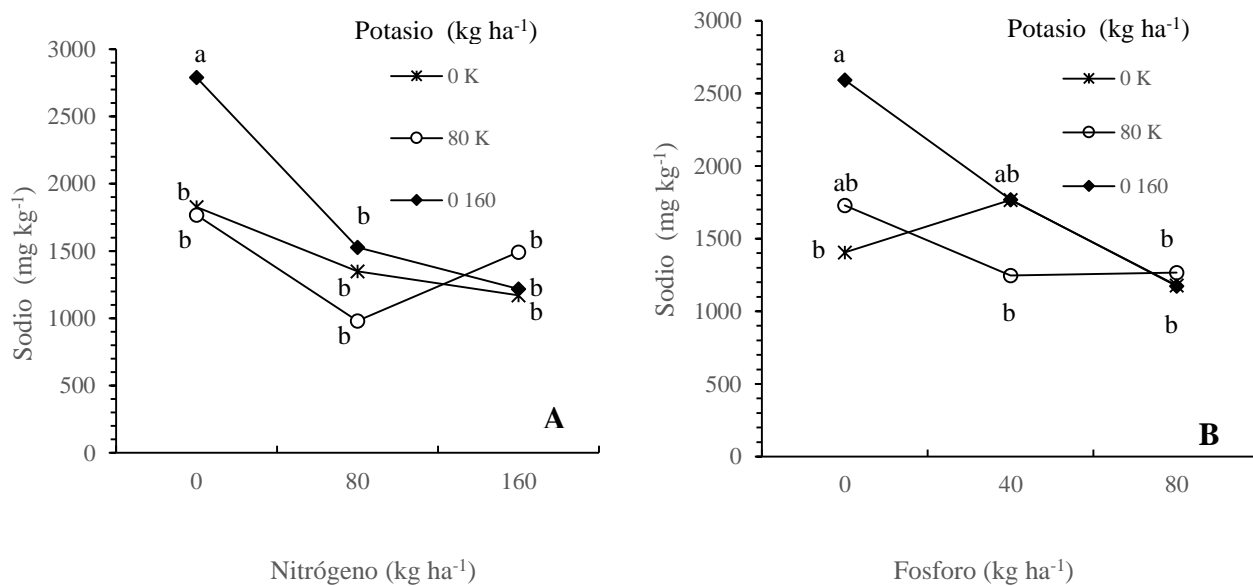


Figura 3.3. Influencia de las interacciones N x K y P x K en la concentración foliar de Na en plantas de higo cv. 'Black Mission'.

3.6 CONCLUSIONES

Con base en este trabajo experimental, los objetivos planteados fueron alcanzados porque la dosis 80N-40P-0K produjo la máxima biomasa total. A dosis mayores N y P se producía un efecto fitotóxico, lo cual fue corroborado con el análisis en la eficiencia

agronómica en el uso de N y P. Además, los resultados siguieron que adición de N y P a la solución nutritiva coadyuvieron positivamente a la regulación de acumulación de Na⁺ en el tejido foliar; mientras que la adición de K a la solución nutritiva en la regulación de la acumulación del Na⁺ foliar se explica solamente en interacción con la adición de N o P.

La concentración foliares en postcosecha que se podrían considerar como adecuadas son: N 2.8 %, P 0.10 %, K 1.5 %, Ca 1.4 %, Mg 0.36 %, Fe 191 mg kg⁻¹, Cu 6 mg kg⁻¹, Mn 100 mg kg⁻¹, Zn 26.5 mg kg⁻¹, Na 1 500 mg kg⁻¹.

No obstante que se necesita más investigación sobre la adición del K al suelo o a la solución nutritiva o en suelos ricos en potasio sobre la regulación de Na⁺ foliar, los productores de higo, podrían usar la dosis de fertilización arriba señalada.

3.7 BIBLIOGRAFÍA

Baligar V.C. and N.K. Fageria (2014) Nutrient Use Efficiency in Plants: An Overview: *In: Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances*. A. Rakshit, H. B. Singh and A. Sen (eds.). Springer, New Delhi. pp:1-14.

Baligar, V. C., N. K. Fageria and Z. L. He (2001) Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:921-950, <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>

Brown, P. H. (1994) Seasonal variations in fig (*Ficus carica* L.) leaf nutrient concentrations. *HortScience*. 29:871-873, <http://hortsci.ashspublications.org/content/29/8/871.short>

CONABIO, Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (2018) http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/50-morac5m.pdf. (Septiembre 2018).

Crisosto, C.H., L. Ferguson, V. Bremer, E. Stover, and G. Colelli (2011) Fig (*Ficus carica* L.): *In: Posharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. E. E. Yahia (ed.). Fruits, 3. Cocona to Mango. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK. pp. 134–158.

FAO, Food and Agricultural Organization. Estadísticas de producción de higo (2018). <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> (Noviembre 2018).

Grieve, C. M., S. R. Grattan and E. V. Maas (2012). Plant salt tolerance: *In: ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71*. W. W. Wallender, and K. K. Tanji, (eds.). Agricultural Salinity Assessment and Management (2nd Edition). ASCE, Reston, VA. pp:405-459.

Irget, M. E., U. Aksoy, B. Okur, A. R. Ongun and M Tepecik (2008) Effect of calcium based fertilization on dried fig (*Ficus carica* L. cv. Sarılop) yield and quality. *Scientia Horticulturae* 118:308–313, <http://doi:10.1016/j.scienta.2008.06.024>.

- Kalra, Y. (1997)** Handbook of reference methods for plant analysis. 1^a edition, CRC press. Boca Raton, FL., EE. UU. 287 p.
- Malvi, U. R. (2011)** Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24:106-109.
- Marschner, P. (2012)** Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3th ed. Academic Press, San Diego, USA. 651 pp.
- Melgarejo, P., J. J. Martínez, F. Hernández, D. M. Salazar and R. Martínez (2007)** Preliminary results on fig soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 111:255–259, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.032>
- Mendoza-Castillo, V. M., J. M. Vargas-Canales, G. Calderon-Zavala, M. D. C. Mendoza-Castillo and A. Santacruz-Varela (2017)** Intensive production systems of fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. *Experimental Agriculture* 53:339-350, <https://doi.org/10.1017/S0014479716000405>
- Mordoğan N., Hakerlerler H., Ceylan Ş., Aydın Ş., Yağmur, B., and Aksoy, U. (2013).** Effect of organic fertilization on fig leaf nutrients and fruit quality. *Journal of Plant Nutrition* 36:1128–1137, <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.780611>.
- Moreno, R. A., D. J. Aguilar and G. A. Luévano (2011)** Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 15:763–774, <https://ageconsearch.umn.edu/record/114479>.

SIAP, Sistema de información agroalimentaria y pesquera (2018) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Noviembre 2018).

Solomon, A., S. Golubowicz, Z. Yablowicz, S. Grossman, M. Bergman, H. E. Gottlieb, A. Altman, Z. Kerem and M.A. Flaishman (2006) Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:7717–7723, <http://DOI: 10.1021 / jf060497h>