



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

VARIACIÓN ESTACIONAL DE NUTRIMENTOS EN HOJA, BROTE Y FRUTO DE ÁRBOLES DE HIGO ‘BLACK MISSION’

IVONNE JIMÉNEZ SALGADO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS


INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **VARIACIÓN ESTACIONAL DE NUTRIMENTOS EN HOJA, BROTE Y FRUTO DE ÁRBOLES DE HIGO ‘BLACK MISSION’**, realizada por la alumna: **Ivonne Jiménez Salgado**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Alfredo López Jiménez

ASESOR



Dr. José Isabel Cortés Flores

ASESOR



Dr. Guillermo Calderón Zavala

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, Julio 2022

VARIACIÓN ESTACIONAL DE NUTRIMENTOS EN HOJA, BROTE Y FRUTO DE ÁRBOLES DE HIGO ‘BLACK MISSION’

Ivonne Jiménez Salgado, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

En México, el cultivo de higo (*Ficus carica* L.) va en aumento ya que, es una excelente alternativa de producción, además de ser considerado una de las frutas más saludables por su alta capacidad nutritiva y nutracéutica. El estado de Morelos siendo el principal productor de higo a nivel nacional, requiere de una estrategia para optimizar la fertilización y con ello generar una nutrición balanceada para aumentar rendimiento y mejorar la calidad del fruto. El objetivo de esta investigación fue conocer la composición y distribución mineral en hoja, brote y fruto de árboles de higo cv Black Mission en cuatro etapas fenológicas bajo tres dosis de fertilización. El trabajo se realizó en un huerto de higo, en Axochiapan, Morelos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Los resultados mostraron que, en hoja la concentración de N, P y K disminuyó durante el ciclo de crecimiento vegetativo y producción de frutos, mientras que, la de, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B aumentó. En el brote, el N y K disminuyó y aumentó en el resto de los nutrientes; en los frutos se observó un aumento de K, y en los otros nutrientes disminuyó. La concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B no fue afectada significativamente por la dosis de fertilización en hoja, brote y fruto durante el periodo de maduración de los frutos.

Palabras clave: *Ficus Carica* L., extracción nutrimental, demanda de nutrientes, fertilización.

SEASONAL VARIATION OF NUTRIMENTS IN LEAF, SPROUT AND FRUIT OF 'BLACK MISSION' FIG TREES

Ivonne Jiménez Salgado, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

In Mexico, the cultivation of fig (*Ficus carica* L.) is increasing since it is an excellent production alternative, in addition to being considered one of the healthiest fruits due to its high nutritional and nutraceutical capacity. The state of Morelos, being the main producer of figs at the national level, requires a strategy to optimize fertilization and thereby generate balanced nutrition to increase yield and improve fruit quality. The objective of this research was to know the composition and mineral distribution in leaves, shoots and fruit of fig trees cv Black Mission in four phenological stages under three doses of fertilization. The work was carried out in a fig orchard, in Axochiapan, Morelos. A completely randomized experimental design was used. The results showed that, in leaves, the concentration of N, P and K decreased during the cycle of vegetative growth and fruit production, while that of Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn and B increased. In the outbreak, the N and K decreased and increased in the rest of the nutrients; in the fruits an increase of K was observed, and in the other nutrients it decreased. The concentration of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn and B was not significantly affected by the fertilization dose in leaf, shoot and fruit during the fruit ripening period.

Key words: *Ficus Carica* L., nutritional extraction, nutrient demand, fertilization.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) brindaron el apoyo de financiamiento para la realización de mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados campus Montecillo, particularmente al Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura por la educación académica recibida durante mi estancia y el apoyo para el desarrollo del proyecto de investigación.

A los profesores Dr. Alfredo López Jiménez, Dr. Guillermo Calderón Zavala, Dr. José Isabel Cortés Flores, Dr. Crescenciano Saucedo Veloz †, por su apoyo y aportaciones para la realización de este proyecto.

A los docentes del Posgrado de Fruticultura, por su enseñanza académica para poder adquirir nuevos conocimientos.

Al productor José Luis Vázquez Martínez por las facilidades brindadas para la ejecución del trabajo experimental.

DEDICATORIA

A la vida por permitirme continuar mi camino y paso a paso cumplir mis metas.

A mis padres: Rosa Ma. Salgado Aguirre y Arturo Jiménez Hurtado por ser un ejemplo de la dedicación y esfuerzo para cumplir los objetivos y metas planteados en mi vida.

A mis hermanos: Alba Sonia y Arturo por todo su apoyo, amor y comprensión.

A mis sobrinos: Estefanía, Valentina, Alexa María y Roberto Yamil por siempre contagiarme de su alegría, inteligencia e inocencia.

A todos aquellos amigos que con sus palabras me alentaron a concluir este proceso de formación académica y por compartir conmigo momentos agradables y de aprendizaje.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
2.3 Hipótesis.....	4
2.3.1 Supuestos.....	4
3 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Generalidades del cultivo de higo.....	5
3.1.1 Importancia del cultivo	5
3.2 Variedades de interés comercial	7
3.2.1 Etapas fenológicas	9
3.3 Nutrición en higo.....	10
3.3.1 Demanda de nutrientes	10
3.3.2 Extracción nutrimental	11

3.3.3	Dosis de fertilización	12
4	MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1	Ubicación del experimento y material vegetal	17
4.2	Tratamientos y diseño del experimento	17
4.3	Diagnostico nutrimental del árbol y fertilidad del suelo	17
4.4	Determinación de la demanda de nutrimentos y cálculo de la dosis de fertilización	19
4.5	Manejo del experimento	22
4.6	Variables.....	22
4.6.1	Muestreo y procesamiento	22
4.6.2	Análisis de laboratorio	23
4.6.3	Rendimiento de fruto	23
4.6.4	Calidad de fruto	24
4.6.5	Peso fresco, diámetro y longitud.....	24
4.6.6	Firmeza.....	24
4.6.7	Color.....	24
4.6.8	Solidos solubles totales.....	25
4.6.9	Vitamina C	25
4.6.10	Análisis estadístico	25
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1	Variables de concentración y extracción nutrimental	26

5.1.1	Concentración nutrimental en hojas.....	26
5.1.2	Concentración nutrimental en brotes vegetativos	30
5.1.3	Concentración nutrimental en frutos.....	33
5.1.4	Extracción de nutrientes en la cosecha.....	36
5.2	Variables de producción	37
5.2.1	Rendimiento	37
5.2.2	Peso fresco, diámetro y longitud del fruto	38
5.3	Variables de calidad de fruto	40
5.3.1	Color.....	40
5.3.2	Firmeza.....	41
5.3.3	Sólidos solubles totales.....	41
5.3.4	Ácido ascórbico	42
6	CONCLUSIÓN	43
7	LITERATURA CITADA	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutricional del fruto de higo (Moreiras <i>et al.</i> , 2013, USDA,2016).	6
Cuadro 2. Diagnostico nutrimental del árbol y fertilidad del suelo para la toma de decisiones de los elementos por aplicar en la fertilización.....	20
Cuadro 3. Fertilizantes utilizados	21
Cuadro 4. Cantidad total de nutrientes en frutos de higo fresco extraídos en la cosecha.....	37
Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en la calidad de frutos de higo cosechados en madurez de consumo	42

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución estacional de la acumulación de nutrientes en hojas de higo (concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B) en diferentes tratamientos de fertilización (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal (ddaey)..... 29
- Figura 2.** Distribución estacional de la acumulación de nutrientes en brotes de higo (concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B) en diferentes tratamientos de fertilización (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal (ddaey)..... 32
- Figura 3.** Distribución estacional de la acumulación de nutrientes en frutos de higo (concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B) en diferentes tratamientos de fertilización (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal (ddaey)..... 35
- Figura 4.** Rendimiento de frutos de higo en diferentes tratamientos (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%). 38
- Figura 5.** Distribución estacional del peso fresco, diámetro y longitud de frutos de higo en diferentes tratamientos (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema terminal (ddaey). 40

1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la producción de frutas ha tenido un mayor auge al incrementarse su demanda, debido a la tendencia en el consumo de alimentos hortofrutícolas por su capacidad nutritiva y nutracéutica (Rodríguez *et al.*, 2017) ya que, en la actualidad, las estrategias sobre el régimen alimentario recomiendan el consumo de frutas y verduras por el beneficio que generan en la salud de los consumidores. El consumo de frutas, es parte fundamental de nuestra alimentación, debido a sus propiedades nutritivas, y componentes esenciales de una dieta saludable, ya que, una mayor ingesta se ha asociado con un menor riesgo de padecer enfermedades (Restrepo *et al.*, 2014) crónico-degenerativas que actualmente generan más del 63% de la mortalidad en el mundo (López-González y Osuna, 2017). En vista del claro beneficio para la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda, un consumo mínimo de 5 raciones de frutas y verduras diferentes al día, lo que nos da un aproximado de 400 g netos (estableciendo en dicho caso como ración 80g) (Moñino *et al.*, 2016).

En México el consumo per cápita de frutas es de 98 kg al año, por lo que la producción de frutas todo el año es indispensable, tanto para consumo interno como para exportaciones. En relación a esto, el incremento en la producción de cultivos frutícolas, constituye una alternativa económicamente viable (Espinosa *et al.*, 2020), derivando una remuneración relativamente alta, la generación de empleo y la captación de divisas (Cruz *et al.*, 2013).

El fruto de higo es una alternativa en virtud a su alta capacidad nutritiva en términos de vitaminas y minerales (Rodríguez *et al.*, 2017), siendo el P, K, Ca, Mg, Na, Fe y Zn los que están en mayor concentración (Mendoza *et al.*, 2019), además de carbohidratos, proteínas y fibra dietética, y su calidad nutracéutica basada en su alto contenido de fenoles, antocianinas y anticancerígenos

(Rodríguez *et al.*, 2017). Por lo tanto, se considera una de las frutas más saludable dando un alto valor para la seguridad alimentaria, además de tener un gran valor comercial.

La higuera de origen en el Medio Oriente, es una de las primeras plantas cultivadas por el hombre, la especie de mayor importancia comercial es *Ficus carica* L. por su consumo en fresco y seco (Barolo *et al.*, 2014).

Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en 2019, el área cosechada fue de 292,755 hectáreas, teniendo una producción de 1,332,813 toneladas; siendo Turquía, Egipto, seguidos de Argelia, Marruecos e Irán los países con la mayor producción de higos a nivel mundial.

En México, el cultivo de higo va en aumento ya que, es una excelente alternativa de producción tanto a campo abierto como bajo invernadero por ser una especie que se adapta a diferentes condiciones climáticas y responde favorablemente al manejo agronómico (Mendoza *et al.*, 2019), siendo una opción económica para el sector rural (Mendoza *et al.*, 2017). Para el 2019 se reportó la presencia del higo de forma comercial en 15 estados, donde los tres principales son: Morelos, que mostró la mayor superficie cosechada, 497.3 ha, seguido de Baja California Sur con 302 ha y Veracruz con 165 ha (SADER, 2020).

Sin embargo, el avance en la investigación sobre los sistemas de producción y nutrición del cultivo es limitado, repercutiendo en el rendimiento y calidad del higo.

La nutrición es un factor considerado como controlable dentro de un sistema de producción, sin embargo, para el caso de higo, no existen datos específicos en cuanto a la extracción nutrimental que permitan precisar la dosis óptima de fertilización (Alejo *et al.*, 2015); siendo ésta uno de los factores fundamentales que permite obtener altos rendimientos y, por lo tanto, la rentabilidad de

la producción agrícola y que debe ajustarse y recomendarse a cada especie en función de su demanda y extracción nutrimental.

Los bajos rendimientos de producción a campo abierto reportados para Morelos (6.7 t ha^{-1}), comparados con los de otros estados, por ejemplo, Veracruz (12 t ha^{-1}), da como pauta al desarrollo de investigación para un manejo adecuado en la nutrición de los huertos en el estado; debido a que en la actualidad, la nutrición de los árboles se realiza con base a la experiencia del productor o la recomendación de técnicos y no se considera el estatus nutrimental del árbol ni la fertilidad del suelo, ya que no se realizan análisis foliares ni de suelo.

Por ello es necesario conocer la fenología del cultivo y la extracción nutrimental del fruto y demás órganos en las diferentes etapas fenológicas, para identificar los momentos críticos de mayor demanda, con el objetivo de establecer programas y dosis de aplicación de fertilizantes, fuentes de fertilización adecuadas, métodos de aplicación eficientes y tiempo de aplicación de fertilizantes.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo general

Evaluar la variación estacional de nutrimentos en hoja, brote y fruto y su efecto en el rendimiento y calidad del higo ‘Black Mission’ bajo tres tratamientos de fertilización.

2.2 Objetivos específicos

Realizar el diagnóstico nutrimental del árbol y de fertilidad del suelo, para definir las dosis de fertilización de acuerdo al método de sitio específico.

Evaluar la composición nutrimental en hoja, brote y fruto en cuatro etapas fenológicas del higo ‘Black Mission’.

Evaluar el rendimiento y calidad del fruto bajo tres tratamientos de fertilización en el higo ‘Black Mission’.

2.3 Hipótesis

El tratamiento de fertilización influye en la composición y variación nutrimental temporal de los órganos del árbol, el rendimiento y calidad del fruto de higo ‘Black Mission’.

2.3.1 Supuestos

La época de fertilización y la frecuencia de riego son los adecuados.

Las condiciones ambientales (temperatura, precipitación, humedad relativa, entre otros) son favorables para que los árboles de higo expresen su potencial de producción.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades del cultivo de higo

3.1.1 Importancia del cultivo

En la actualidad, la tendencia en el consumo de alimentos hortofrutícolas está enfocada primordialmente a su capacidad nutritiva y nutracéutica (Macías *et al.*, 2017). La proporción de cada componente varía de acuerdo a diversos factores, como las condiciones edafoclimáticas del cultivo, la especie, la variedad y la etapa de desarrollo del fruto (Mayra, 2014).

El higo, de acuerdo a diversos estudios tiene alta capacidad nutritiva en términos de vitaminas, minerales, carbohidratos, proteínas, fibra dietética, y calidad nutracéutica, la cual, está fundamentada en su alto contenido de fenoles, antocianinas y anticancerígenos (Macías *et al.*, 2017); por tal motivo, a este tipo de frutos se les atribuye una función antioxidante (Solomon *et al.*, 2006) (Cuadro 1).

Los frutos de higo tienen un gran valor comercial y son un complemento importante para la nutrición humana, al proporcionar compuestos energéticos en forma de almidones y azúcares como glucosa y fructosa (Mendoza *et al.*, 2019), además de ser una fruta nutritiva con valores superiores, el total del contenido mineral del higo es de dos a cuatro veces mayor que el de la mayoría de las frutas frescas y son libre de sodio, grasa y colesterol (Melgarejo *et al.*, 2007).

El estudio de las propiedades nutracéuticas del higo, como los fenoles y antocianinas, ha cobrado importancia debido a que mejoran la calidad de vida del humano, manteniendo niveles adecuados de salud y previniendo enfermedades crónicas, (Mayra, 2014). Contienen al menos 17 tipos de aminoácidos, entre los cuales el ácido aspártico y la glutamina son los más altos. Los higos secos

también contienen cantidades relativamente altas de fibra (5,8%, p/p), superiores a la mayoría de las frutas más comunes, más del 28% de la fibra es soluble y se ha demostrado que ayuda en el control del azúcar y colesterol en la sangre y en la pérdida de peso. (Solomon *et al.*, 2006).

La variedad conocida como Black Mission es la que posee los contenidos más altos de antocianinas y la que presenta la capacidad antioxidante más elevada (36 %) de todos los tipos de higueras y colores del fruto (Solomon *et al.*, 2006). Sin embargo, el valor nutritivo y nutracéutico que presenten los frutos de higo al momento de la cosecha puede ser modificado por factores diversos, como las condiciones edafoclimáticas del cultivo, el sitio de cultivo, el tipo de higuera, la variedad, la edad de la planta, la etapa de desarrollo del fruto, la época de cosecha, y el manejo agronómico del cultivo (García, 2014).

La calidad comercial de los frutos de higo se define por su composición nutrimental representando una de las características más importantes (Aljane *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Composición nutricional del fruto de higo (Moreiras *et al.*, 2013, USDA,2016).

Valor nutricional del higo fresco por 100 g de porción comestible			
Nutrientes (g)		Minerales	
		Macroelementos (mg)	
Agua	80.3	K	270
Carbohidratos	13	Ca	40
Fibra	2.9	P	22.5
Proteínas	1.3	Mg	20
Grasas	0.5	Na	2
Vitaminas (mg)		Microelementos (mg)	
A (µg)	8.0	Fe	0.6
B1	0.06	Zn	0.3
B2	0.05	Mn	0.04
B3	0.5	Se	Tr
B6	0.11		
C	2.0		
Aporte energético (kcal)		65	

Tr: trazas.

En los últimos años se ha detectado un creciente interés por esta especie y su potencial como cultivo comercial (Balas *et al.*, 2014), por tal motivo, los productores buscan tecnificar este cultivo, dado que su demanda como producto de exportación es alta, tanto en higo fresco como deshidratado y sus derivados. Concretamente, los mercados norteamericanos y de Canadá demandan en conjunto el mayor porcentaje, además de otros mercados emergentes, tal es el caso de España, China y Japón.

A nivel mundial, la superficie cosechada del cultivo de la higuera supera las 292.755 ha, con una producción estimada de 1.332.813 t (FAOSTAT, 2019). Los principales países productores se localizan en el área mediterránea, liderados por Turquía, Egipto, Marruecos, Irán y Argelia cuyas producciones en conjunto superan el 70% de la producción total.

A nivel nacional, los principales productores de higo a campo abierto son los estados de Morelos con una superficie de 497.3 ha, Baja California Sur con 302 ha y Veracruz con 165 ha, seguidos de Hidalgo y Puebla (SADER, 2020).

3.2 Variedades de interés comercial

Las variedades de higos para la producción comercial son limitadas a la maduración de los frutos sin polinización (Pérez, 2019). En la elección de la variedad se deben tener en cuenta diversos aspectos como el tipo de producción (brevas y/o higos), el destino de dicha producción (consumo en fresco o secado), la fecha de maduración (temprana, media o tardía) y la preferencia del mercado (coloración de la piel) (López *et al.*, 2011).

Los cultivares también varían en características como la morfología de las hojas, el vigor de la planta, color externo e interno de la fruta, sabor a fruta, porcentaje de sólidos solubles, acidez

titulable, características de la semilla, forma del fruto, grosor de la piel, diámetro del ostiolo ostiolo y duración de la producción de frutos (Flaishman *et al.*, 2008).

Existen cientos de variedades disponibles en el mercado, algunas de las que tienen gran aceptación debido a sus cualidades organolépticas son la ‘Black Mission’, ‘Brown Turkey’, ‘Sierra’, ‘Kadota’, ‘Kalimirna’ y ‘Tiger’, siendo la primera la más cultivada en el mundo y algo muy importante a considerar es la aceptación del consumidor en el mercado (Pérez, 2019).

Según un estudio realizado por Crisosto *et al.* (2010), donde evaluó cuatro cultivares de higos frescos en pruebas de consumo y obteniendo como resultado que a los consumidores les gustó moderadamente ‘Kadota’ y ‘Mission’ con una aceptación del 82% y 72%, respectivamente; ‘Kalimirna’ y ‘Brown Turkey’ gustaron ligeramente con una aceptación del 64%.

La higuera cultivada para la producción de frutos (brevas e higos), se clasifica en cuatro tipos en base a sus necesidades de polinización y cultivo: por un lado, las conocidas como higueras comunes, que no requieren polinización, se conocen como partenocárpicas. Dentro de este grupo las podemos dividir en uníferas, que en la madera del año producen una sola cosecha de higos; y bíferas, con dos cosechas, una de brevas en la madera del año anterior y otra de higos en la madera del año. Por otro lado, las variedades que necesitan polinizarse para fructificar. Este proceso de polinización se conoce como caprificación. Dentro de este grupo se incluyen las variedades denominadas de tipo San Pedro, que producen una primera cosecha de brevas sin necesidad de polinización y una segunda cosecha de higos con caprificación; y las de tipo Esmirna, que producen una cosecha de higos, pero sólo con caprificación (López *et al.*, 2012).

3.2.1 Etapas fenológicas

Según lo referido por Melgarejo (1999) se pueden describir los estados fenológicos de la higuera en 12 etapas: yema de invierno, siconos hinchados, apertura de las escamas de la yema terminal, se ven salir las hojas, han salido las primeras hojas, caída de la breva terminal, sicono joven (breva), brevas desarrolladas y aparición de higos, maduración de las brevas, higo joven, maduración de los higos y caída de hojas. Sin embargo, al no disponer de suficiente bibliografía específica sobre las fases fenológicas del higo, se ha adaptado de otras especies según las recomendaciones de Izarra & López, (2014), determinándose 5 etapas fenológicas que son: primera fase: hinchamiento de las yemas, segunda fase: aparición de las primeras hojas, tercera fase: aparición de frutos (siconos), cuarta fase: maduración de los primeros frutos y quinta fase: inicio de la caída de hojas.

Las higueras, al ser árboles frutales, necesitan ciclos de fertilización que aseguren la energía suficiente para hacer frente a la etapa productiva; iniciando con una nutrición desde la primera etapa para motivar el reverdecimiento de la estructura y posteriormente hacia la etapa de fructificación, ya que, durante la formación de los frutos, es importante proveer de nutrientes para completar el ciclo productivo.

La dosis de fertilización está determinada por la demanda de cada estado fenológico, la que considera la acumulación que realizan las raíces, tallos, hojas y frutos.

3.3 Nutrición en higo

3.3.1 Demanda de nutrientes

La nutrición de las plantas incide directamente en el rendimiento y la calidad del fruto (Villalva-Morales *et al.*, 2015). Los fertilizantes químicos han jugado un papel muy importante en el suministro de nutrientes para los sistemas intensivos de producción de frutas (Melgarejo *et al.*, 2007). Para obtener óptimos rendimientos en los frutales, los requerimientos nutrimentales de éstos, deben mantenerse mediante la continua reposición de aquellos nutrimentos que son extraídos durante el ciclo productivo (Morgado-González *et al.*, 2018).

En relación con la demanda nutricional del cultivo de higo, los avances en la investigación son limitados. Su importancia radica en el hecho de que las prácticas de manejo como dosis adecuadas, fuentes de fertilización apropiadas, métodos de aplicación eficientes y el tiempo de aplicación (momento de la aplicación) son estrategias importantes para mejorar la nutrición de los cultivos y el uso de fertilizantes (Mendoza *et al.*, 2019).

Los estudios de fertilización en esta especie son escasos y sus necesidades dependen del tipo de suelo, del contenido en materia orgánica, del pH y así como de las extracciones de la higuera. Los fertilizantes más utilizados son abonos complejos que contienen nitrógeno-potasio-fósforo. Cuando el árbol entra en plena producción es necesario aumentar la dosis de potasio, para el completo desarrollo del fruto (Jiménez, C.P. 2016).

En todo momento, la cantidad de nutrientes en los diferentes componentes del árbol proviene de tres fuentes: la absorción del suelo, la absorción de los fertilizantes y la contribución del almacenamiento de reservas (Fernández *et al.*, 2010). Las reservas del árbol frutal proceden de dos fuentes principales: la absorción de nutrientes por raíces y hojas (cuando se aplican fertilizantes

foliares de nutrientes móviles en floema) y el reciclaje dentro del árbol. Los árboles frutales caducifolios tienen un sistema único de reciclaje de nutrientes previo a la caída de las hojas y las cantidades de nutrientes que se movilizan a los tejidos de almacenamiento son elevados.

3.3.2 Extracción nutrimental

Los primeros estudios sobre extracción de nutrientes tomaban en cuenta la exportación debido a la cosecha y el crecimiento anual de los componentes del árbol. Por lo tanto, un enfoque simple fue reponer la cantidad requerida por el árbol.

La contribución de los frutos, madera de poda y hojas sobre el total de extracciones varía mucho en función de la producción de biomasa alcanzada y cultivar (Fernández *et al.*, 2010). El tejido de la hoja es un importante reservorio de nutrientes móviles.

Según Pineda *et al.* (2008), en términos generales, el balance negativo de nutrientes del suelo se debe a las bajas tasas de reposición, lo cual determina un creciente empobrecimiento en N, P, K, S, Ca y B.

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).

La fertilización en frutales es uno de los factores importantes para el crecimiento y desarrollo de los árboles, debido a la necesidad de reponer los nutrientes que son extraídos durante su ciclo fenológico (Boyd *et al.*, 2010).

3.3.3 Dosis de fertilización

La fertilización de frutales es una tecnología difícil de precisar debido a que estas especies mantienen reservas de nutrientes en raíces, tronco, ramas y ramillas; además de que el suelo actúa como reservorio de los nutrientes aplicados, por lo tanto, es muy común la sobredosificación especialmente con nitrógeno, elemento cuyo exceso es muy perjudicial en la producción frutícola, debido a que promueve la aparición de enfermedades, puede producir desbalances nutricionales y afectar la calidad de la fruta (Sierre-Bernal, C., 2003).

En este contexto, la fertilización balanceada constituye una de las bases de la producción sustentable, al evitar que la extracción continua de nutrientes produzca el agotamiento de los suelos (Sánchez y Curetti, 2009).

La higuera se considera un cultivo marginal, con bajos requerimientos nutrimentales (Márquez *et al.*, 2019). De manera convencional, al higo se le fertiliza con macronutrientes al suelo, aunque existen situaciones en que los árboles presentan algún grado de deficiencia y, por tanto, es necesario realizar aspersiones foliares tanto de macro como microelementos para obtener respuestas rápidas del frutal. (Morgado *et al.*, 2018).

Sin embargo, a nivel mundial, la respuesta del higo a la aplicación de N, P, y K, poco ha sido estudiada en relación al rendimiento y calidad del fruto (Irget *et al.*, 2008).

La fertilización de las higueras está relacionada tanto con la producción como con la calidad de sus frutos. La proporción óptima entre los tres macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo determina el mayor rendimiento, calidad y producción temprana. Además, el nitrógeno juega un papel clave en el metabolismo de las plantas y mejora la nutrición inorgánica,

tanto la cantidad como la calidad del producto. También, mejora la fotosíntesis y la formación de compuestos orgánicos incluyendo azúcares y pigmentos, entre otros. Asimismo, las interacciones de N con otros nutrientes esenciales de las plantas son importantes para mejorar el crecimiento y el desarrollo y, en consecuencia, aumentando la demanda de otros nutrientes (Mendoza, *et al.*, 2019).

El potasio está implicado en numerosas funciones del metabolismo vegetal, por ejemplo: en la activación de enzimas, balance catiónico/aniónico, movimiento estomático, transporte del floema, translocación de asimilados, y regulación de la turgencia para nombrar solamente algunos pocos (Krauss, A., 2003). El potasio es la clave en la nutrición de las plantas para promover el crecimiento de las raíces y el vigor de los árboles, aumentando rendimiento y mejora de la calidad de la fruta, así como la mejora de la resistencia de las plantas a la sequía, plagas de salinidad y enfermedades (Rhman, 2017).

Un aporte desbalanceado de nutrientes con excesivo N y/o inadecuado K, resulta en fallas en el metabolismo de la planta, favoreciendo el desarrollo y reproducción de los patógenos (Krauss, A., 2003).

La calidad del fruto para fresco y secado está altamente correlacionada con el estado nutricional de la higuera. Así, altos niveles de magnesio, hierro y boro afectan negativamente al color de los frutos (Flaishman *et al.*, 2008).

Otro factor importante es la eficiencia en la fertilización, que aumenta cuando la disponibilidad de nutrientes del suelo coincide con la mayor demanda de la planta (Boyd *et al.*, 2010). Es por esta razón que se determinan las épocas de fertilización, las cuales son reflejadas en las curvas de

extracción según el estado fenológico de las plantas, permitiendo hacer las fertilizaciones en el momento adecuado (Razeto, 2006).

Las higueras necesitan equilibrio de macronutrientes para lograr crecer sanas y asegurar un buen comportamiento en el plano productivo. Caso similar aplica con los micronutrientes que, aunque se necesitan en menor cantidad, son fundamentales para que todo marche como debería ser.

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.

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, 2012).

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 (Márquez, 2019).

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).

La nutrición mineral se refiere al suministro, disponibilidad, absorción, translocación y utilización de los elementos inorgánicos para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Fageria, 2016).

Uno de los factores fundamentales que permite obtener altos rendimientos y rentabilidad de los cultivos agrícolas es la nutrición vegetal, la cual debe de ser ajustada y recomendada a cada especie con base en su respectiva extracción de nutrimentos, además de tomar en cuenta su comportamiento durante los estados fenológicos de la planta.

La subestimación del requerimiento de nutrientes conllevaría a una deficiencia nutrimental y una sobreestimación provocaría un encarecimiento de los costos de producción, así como una contaminación ambiental y por lo tanto una disminución de la rentabilidad del cultivo.

El uso de nutrientes en la producción de cultivos está influenciado por el clima, el suelo, las plantas y las condiciones socioeconómicas de los agricultores. En general, la eficiencia del uso de

nutrientes por parte de las plantas es baja, por lo tanto, gran parte de los nutrientes aplicados se pierden en el sistema suelo-planta (Baligar y Fageria, 2014).

Mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes es esencial desde el punto de vista económico y ambiental. Las estrategias más importantes para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes son el uso de la dosis adecuada, la fuente efectiva, el momento y los métodos de aplicación.

El estado de Morelos, siendo de los principales productores a nivel nacional en la producción de higo, obtiene rendimientos inferiores a otros estados que van en promedio de 6 a 8 t ha⁻¹. El manejo de la nutrición del cultivo en la región se basa en aplicar dosis de fertilización, sin el conocimiento del estado nutricional del árbol y la fertilidad del suelo, lo que conlleva a no cubrir los requerimientos nutrimentales de los árboles o bien aplicaciones en demasía, obteniendo como resultado, desbalances nutricionales por exceso o deficiencia en el suministro de nutrientes.

Estos problemas afectan en los rendimientos del cultivo y por lo tanto en la rentabilidad del mismo, ya que los costos de producción por insumos de fertilizantes pueden llegar a aumentar cuando el suministro de nutrientes es en exceso, así como provocar una contaminación al ambiente por lixiviación a los mantos freáticos. Por otro lado, es importante un suministro adecuado de los nutrientes para mantener un fruto de calidad nutricional, la cual aporte los valores óptimos de nutrientes al consumidor.

Para atender esta problemática del manejo nutricional de los árboles, se desarrolló el presente trabajo de investigación para evaluar la variación estacional de nutrimentos en hoja, brote y fruto y su efecto en el rendimiento y calidad del higo 'Black Mission', bajo tres tratamientos de fertilización en un huerto a campo abierto en el municipio de Axochipan, Morelos.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del experimento y material vegetal

El estudio se realizó en el municipio de Axochiapan, Morelos; con ubicación geográfica entre los paralelos 18°30' de latitud norte y 98°45' de longitud oeste del meridiano Greenwich, a una altitud de 1030 m, precipitación anual de 1,000 mm y temperatura media anual de 22 a 24°C. El estudio se realizó con el cultivar Black Mission, los árboles son de 3 años de edad, con un marco de plantación de 3 m entre árboles y 4 m entre hileras para una densidad de 830 árboles ha⁻¹.

4.2 Tratamientos y diseño del experimento

Se evaluaron tres tratamientos de fertilización química: 1) Testigo, la aplicación de 194 g árbol⁻¹ de N, 263.8 de P₂O₅ y 86.7 de K₂O, dosis utilizadas por el productor; 2) Aplicación de 30.7 g árbol⁻¹ de N, 29.7 de P₂O₅ y 37.5 de K₂O basada en el estatus nutrimental del árbol, la fertilidad del suelo y extracción de nutrimentos para un rendimiento esperado de 10 t ha⁻¹ por la cosecha meta y 3) 1.5 veces el tratamiento 2. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar con cuatro observaciones; la unidad experimental fueron cinco árboles, con tres arboles centrales como parcela útil.

4.3 Diagnóstico nutrimental del árbol y fertilidad del suelo

Se realizó un diagnóstico del estatus nutrimental mediante análisis foliar, el muestro se realizó el 18 de enero de 2020, de acuerdo con el procedimiento descrito en el Manual de Análisis de Plantas (Benton *et al.* 1991).

Se tomaron hojas de diferentes árboles para tener una muestra compuesta. Las hojas se colocaron en bolsas de plástico dentro de una hielera con geles refrigerantes y se transportaron al laboratorio;

al llegar, se lavaron con agua corriente de la llave, enseguida con agua destilada y al final con agua desionizada, se dejaron sobre papel para escurrir el exceso de agua. Posteriormente se pusieron en bolsas de papel y colocaron en una estufa con circulación de aire a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Las muestras secas se molieron en un mortero de porcelana hasta quedar pulverizadas.

La determinación de la concentración de N total, se llevó a cabo empleando el método semimicro-Kjeldahl (Norman y Bremner, 1965), utilizando ácido sulfúrico-perclórico y peróxido de hidrogeno para la digestión de las muestras. Para P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B, se realizó mediante digestión húmeda con la mezcla de ácidos sulfúrico-perclórico y peróxido de hidrogeno y la lectura de los extractos se midió mediante espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado (ICP-AES 725-ES, Agilent, Santa Clara, CA, USA). La interpretación del análisis nutrimental de los árboles se hizo comparando con los niveles críticos e intervalos de suficiencia (Moreno *et al.* 1998).

La fertilidad del suelo se determinó mediante análisis químico, se realizó un muestreo el 18 de enero de 2020 a dos profundidades: 0 a 30 cm y 30 a 60 cm, haciendo excavaciones en los cuatro puntos cardinales de la superficie del suelo donde se proyecta la copa del árbol, colectando diversas muestras en diferentes árboles para conformar una muestra compuesta. El suelo se extrajo con una pala y se colocó en bolsas de plástico dentro de una hielera para su transporte, las muestras se secaron a la sombra a temperatura ambiente y posteriormente se enviaron a un laboratorio acreditado para su análisis.

De igual manera se realizó un muestreo de frutos de higo en madurez de cosecha en la misma fecha para determinar la extracción nutrimental, se colectaron frutos de diferentes árboles para conformar una muestra compuesta, llevando a cabo el mismo proceso de preparación y análisis

que las hojas. Obteniendo una concentración de 14.2, 1.2, 7.9, 2.5 y 1.3 g kg⁻¹ para N, P, K y Ca y Mg y de 24.0, 4.5, 8.2, 7.1 y 22.85 mg kg⁻¹ para Fe, Cu, Mn, Zn y B respectivamente.

4.4 Determinación de la demanda de nutrimentos y cálculo de la dosis de fertilización

La demanda se calculó con base a la extracción de nutrientes por la cosecha de higo considerando una meta de producción de 10 t ha⁻¹ de fruto de higo. A los datos de extracción se les aplicó una eficiencia del fertilizante de 0.5 N, 0.2 P, 0.7 K, 0.6 Ca y Mg, y Fe, Cu, Mn, Zn y B de 0.80. Con base en la información proporcionada por el productor, se calculó la dosis de N, P, K por aplicar en el tratamiento testigo. Para los tratamientos 2 y 3, la dosis de N, P, K se calculó mediante la fórmula propuesta por Etchevers, (1987):

$$Dosis\ de\ fertilizante = \frac{Demanda\ del\ cultivo - Suministro\ del\ suelo}{Eficiencia\ de\ recuperación\ del\ fertilizante}$$

Una vez calculada la dosis de fertilización, con base a la información del estatus nutrimental del árbol y la fertilidad del suelo, se determinó la necesidad de aplicación de los nutrientes para los tratamientos 2 y 3, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Diagnostico nutrimental del árbol y fertilidad del suelo para la toma de decisiones de los elementos por aplicar en la fertilización.

Nutriente	Extracción nutrimental del fruto	Diagnostico		Decisión		
		Concentración en hojas	Contenido en suelo			
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹		kg ha ⁻¹		
N	19.45	22.50	Bajo	15.2	Mod. Bajo	Aplicar más de la demanda
P	1.65	1.49	Optimo	23.525	Bajo	Aplicar más de la demanda
K	10.87	3.61	Alto	265	Bajo	Aplicar más de la demanda
Ca	3.51	15.77	Alto	8652.5	Mod. Alto	Sin aplicación
Mg	4.68	3.81	Alto	5010	Muy Alto	Sin aplicación
	g ha ⁻¹	mg kg ⁻¹		kg ha ⁻¹		
Fe	32.86	150.07	Bajo	15.8	Mod. Bajo	Aplicar más de la demanda
Cu	6.17	2.71	Bajo	5.525	Alto	Solo remoción por cosecha
Mn	11.21	74.27	Bajo	40	Mod. Alto	Solo remoción por cosecha
Zn	9.71	43.49	Alto	5.525	Bajo	Aplicar más de la demanda
B	31.23	53.73	Bajo	1.525	Bajo	Aplicar más de la demanda

Posteriormente se determinaron las fuentes de los fertilizantes utilizados para cada tratamiento. Los fertilizantes utilizados en el tratamiento testigo, fueron los que aplica regularmente el productor y proporcionados por el mismo, los cuales se presentan en el cuadro 3.

Para los tratamientos 2 y 3, una vez definida la necesidad de aplicación de los elementos, se determinó las fuentes de fertilizantes empleados como se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fertilizantes utilizados.

Tratamiento (T)	Fertilizantes	Composición del fertilizante
T 1 (testigo)	Fosfonitrato	33 – 03 - 00
	Fosfato di amónico ((NH ₄) ₂ HPO ₄)	18 – 46 - 00
	Blaukorn	12 – 08 - 16
	NovaTec® Premium	15 – 03 - 20
	Qrop complex	12 – 11 - 18
T 2 (dosis calculada) y	Urea (CO(NH ₂) ₂)	46 – 00 - 00
	Fosfato di amónico ((NH ₄) ₂ HPO ₄)	18 – 46 - 00
T 3 (dosis calculada + 50%)	Nitrato de potasio (KNO ₃)	12 – 46 - 00
	Ultrasol MicroMix®	0.3 Cu, 7.5 Fe, 3.7 Mn

4.5 Manejo del experimento

La dosis del fertilizante se fraccionó en dos partes; en la primera, se aplicaron todos los nutrientes requeridos al 100% con excepción del nitrógeno, que se aplicó al 50% y en la segunda, se aplicó el otro 50% de N. Las fechas de aplicación fueron: 20 de noviembre de 2020 y 3 de marzo de 2021 respectivamente. La aplicación se hizo en una cepa de cada lado del árbol de aproximadamente 10 cm de profundidad, posteriormente el fertilizante fue cubierto. La fertilización se realizó días cercanos al riego para tener humedad en el suelo. El suministro de agua fue por riego rodado cada 12 a 15 días. El control de plagas y enfermedades se efectuó con productos químicos, el control de malezas fue manual y químico. En julio se realizó una poda de fructificación.

Cabe mencionar que de acuerdo a la literatura la fertilización se debe realizar después de la poda; sin embargo, en esta investigación se realizaron las aplicaciones aproximadamente dos meses después de lo recomendado, debido a que no se contó con toda la información del diagnóstico nutrimental para definir los tratamientos de fertilización, por lo tanto, los resultados se consideran preliminares.

4.6 Variables

4.6.1 Muestreo y procesamiento

Se realizaron cuatro muestreos en diferentes fechas correspondiendo a distintas etapas fenológicas del cultivo, las etapas se consideraron de acuerdo a lo descrito por Melgarejo (1999). Los muestreos se realizaron a los 12, 31, 50 y 68 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal, correspondiendo a las siguientes etapas: Etapa E, salida de las primeras hojas (19 de enero de 2021), Etapa G, sicono joven (07 de febrero de 2021), Etapa I, maduración de las brevas (24 de febrero de 2021) y Etapa K, maduración de los higos (14 de marzo de 2021). En

cada muestreo se colectaron hojas, brotes y frutos de los árboles de la parcela útil de cada tratamiento. Una vez colectadas las muestras, fueron llevadas al laboratorio para iniciar con el proceso de preparación previo al análisis químico; el primer paso fue el lavado con agua corriente de la llave, enseguida con agua destilada y al final con agua desionizada, se dejaron sobre papel para escurrir el exceso de agua. Posteriormente se pusieron en bolsas de papel y colocaron en una estufa con circulación de aire a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Las muestras secas de hojas se molieron en un mortero de porcelana, las de brotes y frutos, debido a su mayor grosor y dureza en un molino eléctrico para grano de café marca BLACK+DECKER hasta quedar pulverizadas.

Se determinó la concentración de los siguientes elementos minerales de cada una de las muestras en las diferentes etapas fenológicas y órganos de la planta: Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B).

4.6.2 Análisis de laboratorio

La concentración y extracción de los macros y micros se realizó mediante un análisis químico bajo las siguientes metodologías; la determinación de la concentración de N total, se llevó a cabo empleando el método semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965), utilizando ácido sulfúrico-perclórico y peróxido de hidrogeno para la digestión de las muestras. Para P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B, se realizó mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos sulfúrico-perclórico y peróxido de hidrogeno y la lectura de los extractos se midió mediante espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado (ICP-AES 725-ES, Agilent, Santa Clara, CA, USA).

4.6.3 Rendimiento de fruto

La cosecha se realizó en los meses de febrero a abril del 2021, cosechando el fruto en su madurez fisiológica a tres cuartos de un color morado, tres veces por semana, los días lunes, miércoles y

viernes, la colecta se realizó en recipientes de plástico identificados para cada tratamiento en las diferentes unidades experimentales y se obtuvo el peso de cada uno de ellos utilizando una báscula digital marca MKSTOOLS, expresando los resultados en gramos (g) y posteriormente eran vaciados a cajas plásticas para su comercialización.

4.6.4 Calidad de fruto

La calidad de los frutos de higo en los diferentes tratamientos se determinó realizando las pruebas en poscosecha de peso fresco, diámetro, longitud, firmeza, color, sólidos solubles totales y vitamina C. Se colectaron 10 frutos al azar por cada tratamiento dentro de las parcelas útiles, los frutos cosechados se colocaron en bolsas plásticas dentro de una hielera con geles refrigerantes para ser transportados al laboratorio.

4.6.5 Peso fresco, diámetro y longitud

Los frutos se pesaron en una balanza analítica marca Asep. Los resultados fueron reportados en gramos (g). El diámetro y longitud de los frutos fue medido con un vernier digital marca Truper. Los resultados fueron reportados en milímetros (mm).

4.6.6 Firmeza

La firmeza de los frutos se obtuvo utilizando un texturómetro chatillón (Wagner Forcé Five modelo FDV-30) con puntal cónico de 7 mm de diámetro. Se realizaron mediciones del epicarpio y mesocarpio, rotando el fruto. Los resultados se reportaron en Newtons (N).

4.6.7 Color

El color fue determinado utilizando un colorímetro de reflexión Hunter Lab (Reston Virginia modelo D25) para obtener los valores triestímulo en el espacio L^* , a^* y b^* de la escala CIELAB

donde L^* representa la luminosidad, a^* representa la variación del rojo al verde, b^* representa la variación del amarillo al azul, c^* representa el brillo. Se midió en los dos lados opuestos del diámetro ecuatorial, obteniendo a su vez la media por fruto.

4.6.8 Sólidos solubles totales

La medición fue con un refractómetro digital ATAGO PR-100, previo a las mediciones el equipo se calibró con una gota de agua destilada, posteriormente se colocó una gota de jugo de higo, sobre la lente y se obtuvo la lectura directa, los resultados se reportaron como porcentaje de sólidos solubles totales, la concentración es expresada en °Brix.

4.6.9 Vitamina C

Se determinó el contenido de vitamina C en los frutos de higo para cada uno de los tratamientos, por el método de Tillman o del 2,6-diclorofenol-indofenol (A.O.A.C., No. 967.21, 1990), utilizando ácido oxálico como solución extractora.

4.6.10 Análisis estadístico

La información obtenida fue procesada usando un modelo de diseño experimental completamente al azar mediante el análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS. Considerando cada muestreo para evaluar los diferentes tratamientos y variables.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Variables de concentración y extracción nutrimental

5.1.1 Concentración nutrimental en hojas

De manera general, en la estación de crecimiento, las concentraciones foliares de N, P y K disminuyeron durante las diferentes etapas fenológicas del higo estudiadas, mientras que las de Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B aumentaron (Figura 1). Estos resultados son similares a los obtenidos por Márquez *et al.* (2019), al reportar una disminución en la concentración de N en cuatro huertas de higuera bajo sistemas de producción intensiva, en la fase de desarrollo de los brotes y hojas, por lo tanto, la menor concentración de N puede deberse a un efecto de dilución (Tehryung y Wetzstein, 2005). De la misma manera, la tendencia decreciente coincidió con los resultados de Brown (1994), en árboles de higuera en California, EUA, con un intervalo menor de 2.3% a 1.5%, respecto al del presente estudio de 3.2% a 1.8%, con las concentraciones a los 12 y 31 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal. Este periodo corresponde a las etapas de la brotación de las primeras hojas y desarrollo de los siconos (brevas) respectivamente, ya que el N es esencial en la división y expansión celular, por lo tanto, en el crecimiento (Mendoza *et al.* 2019). Por otro lado, no obstante que la dosis de fertilización de N aplicada por el productor (tratamiento 1, testigo) fue mayor que los tratamientos 2 y 3 (dosis calculada y dosis calculada + 50%) con 132.34, 25.5 y 38.25 kg ha⁻¹ respectivamente; no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. El P disminuyó ligeramente durante el crecimiento vegetativo hasta la cosecha de 1.5 a 1.2 g kg⁻¹. De acuerdo con Moreno *et al.* (1998), el intervalo de suficiencia de P en higuera es de 1.44 a 1.51 mg g⁻¹, lo cual coincide con los valores registrados a los 12, 31 y 50 después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal; sin embargo, se presenta una

ligera deficiencia a los 68 días que corresponden a la etapa de maduración del fruto. Por ello es importante mejorar la eficiencia del uso del P como lo propone Veneklaas *et al.* (2012), eliminando los tejidos que ya no son productivos, por ejemplo, hojas en senescencia y cosecha de frutos a tiempo. Tales cambios prolongarían y mejorarían el uso de P en la fotosíntesis y tendría beneficios nutricionales y ambientales. Al igual que el N, las dosis de fertilización de P aplicadas no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

La concentración de K fue más alta a los 12 y 50 días, correspondiente a la brotación de las primeras hojas con 10.2 g kg^{-1} y maduración de las brevas con 9.1 g kg^{-1} , mientras que a los 31 y 68 días para la producción de los siconos (5.1 g kg^{-1}) y maduración de higos (cosecha) (5.2 g kg^{-1}) respectivamente disminuyó. Márquez *et al.* (2019) reportaron resultados similares la disminución de la concentración de K coincidió con el periodo de cosecha de frutos, sin embargo, en el presente trabajo se tuvieron concentraciones mayores. Estadísticamente no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, aun cuando se aplicó una dosis de fertilización más alta con el tratamiento 1, testigo (59.77 kg ha^{-1}), tratamiento 2, DC (10.87 kg ha^{-1}) y tratamiento 3, DC+50 (16.30 kg ha^{-1}).

Los nutrimentos Ca y Mg mostraron un incremento durante las distintas etapas fenológicas del cultivo, siguiendo un patrón lineal, donde la mayor concentración en las hojas se presentó a los 68 días en la etapa de cosecha con valores de 21.0 g kg^{-1} para Ca y 7.5 g kg^{-1} para Mg. El aumento de la concentración de Ca durante el ciclo puede ser explicado por la baja movilidad del elemento en los tejidos vegetales, lo que ocasiona que no haya una redistribución a otros órganos (Nachtigall y Dechen, 2006); el aumento de Mg, probablemente, se debe a una menor competencia con el K, ya que, las concentraciones en la hoja de este último fueron menores a lo largo del ciclo, comparadas con otros autores (Bronw, 1994; Jones *et al.* 1991) y los rangos óptimos reportados por Moreno *et*

al, 1998. Además, se puede relacionar con el Ca y Mg en el suelo, debido a que, en los resultados obtenidos del análisis químico del suelo indicaron una concentración moderadamente alta para Ca y muy alta para Mg. Sin embargo, los tratamientos no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Para el caso de Fe, Mn y B las concentraciones en la hoja se incrementaron casi linealmente durante el ciclo, con valores más altos a los 68 días en la cosecha de 185.9, 144.8 y 122.3 mg kg⁻¹ respectivamente. El Cu y Zn presentaron un aumento desde los 12 días (etapa de la brotación de las primeras hojas) hasta los 50 días donde se da la maduración de las brevas, sin embargo, a los 68 días (etapa de cosecha) hubo una ligera disminución con valores de 7.6 mg kg⁻¹ para Cu y 37.1 mg kg⁻¹ para Zn.

Estadísticamente las concentraciones de Fe y Cu en hojas presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos a los 50 días, para el caso de Zn a los 31 días; mientras que para Mn y B no se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

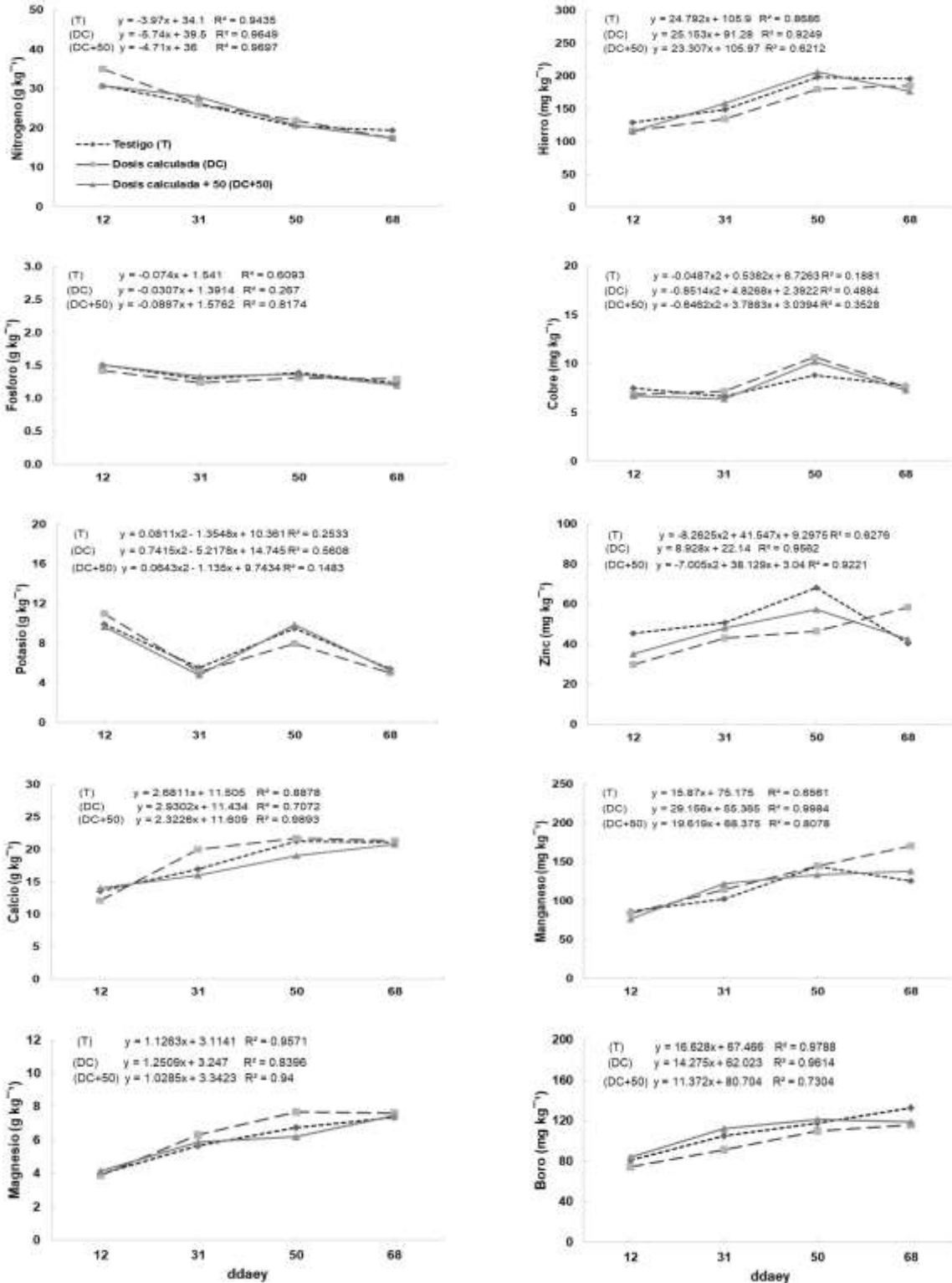


Figura 1. Distribución estacional de la acumulación de nutrientes en hojas de higo (concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B) en diferentes tratamientos de fertilización (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal (ddaey).

5.1.2 Concentración nutrimental en brotes vegetativos

Las concentraciones en brotes de higo fueron distintas para cada nutrimento; N disminuyó ligeramente de 13.6 a 10.7 g kg⁻¹ al igual que K, mientras que, P, Ca, Mg, Fe, Cu, y B aumentaron su concentración; P de 1.3 a 1.5 g kg⁻¹, Ca de 8.4 a 12.1 g kg⁻¹, Mg de 3.4 a 4.3 g kg⁻¹, Fe de 42.0 a 53.3 mg kg⁻¹, Cu de 13.2 a 22.4 mg kg⁻¹ y B de 31.0 a 37.1 mg kg⁻¹. Para el caso de Zn y Mn mostraron un comportamiento variado en la concentración de los brotes entre los diferentes tratamientos, obteniendo valores a los 68 días de 17.6 mg kg⁻¹ para Zn y 30.7 mg kg⁻¹ para Mn (Figura 2).

La disminución de N podría deberse a que es uno de los nutrientes fundamentales en el crecimiento y es un componente de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas, coenzimas, amidas, fosfolípidos, algunas vitaminas y clorofila, principalmente; además, también es constituyente de una multitud de compuestos, que son metabolitos no esenciales y sirven como compuestos que almacenan N (Maathuis, 2009). La concentración de P en los brotes vegetativos fue mayor que en las hojas (1.2 g kg⁻¹) y frutos (1.1 g kg⁻¹), lo cual coincide con Mendoza *et al*, (2019) al obtener una mayor acumulación de P en los brotes, seguido de las hojas y frutos, en una producción intensiva de higo bajo condiciones controladas en invernadero e hidroponía. La concentración de K aumentó a los 50 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal y disminuyó a los 68 días para la etapa de cosecha de una concentración de 5.8 a 5.1 g kg⁻¹; la concentración del potasio expresada en porcentaje de la materia seca disminuye, ésta debe acumularse más rápido que los nutrientes en los periodos del crecimiento, la rápida acumulación de la materia seca durante el período de crecimiento vegetativo da lugar a la dilución del potasio acumulado bajando su concentración (Kant y Kafkafi, 2002).

El K juega un papel importante en la activación de muchos sistemas enzimáticos involucrados en la estructura de las sustancias orgánicas y en la formación de compuestos como el almidón o las proteínas y también participa en el agrandamiento celular y en desencadenar el crecimiento de tejidos meristemáticos jóvenes (Rhman, 2017).

Al analizar los datos estadísticamente, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, en Fe a los 12 días, es decir a la salida de las primeras hojas y en Ca a los 50 días, que corresponde a la maduración de las brevas.

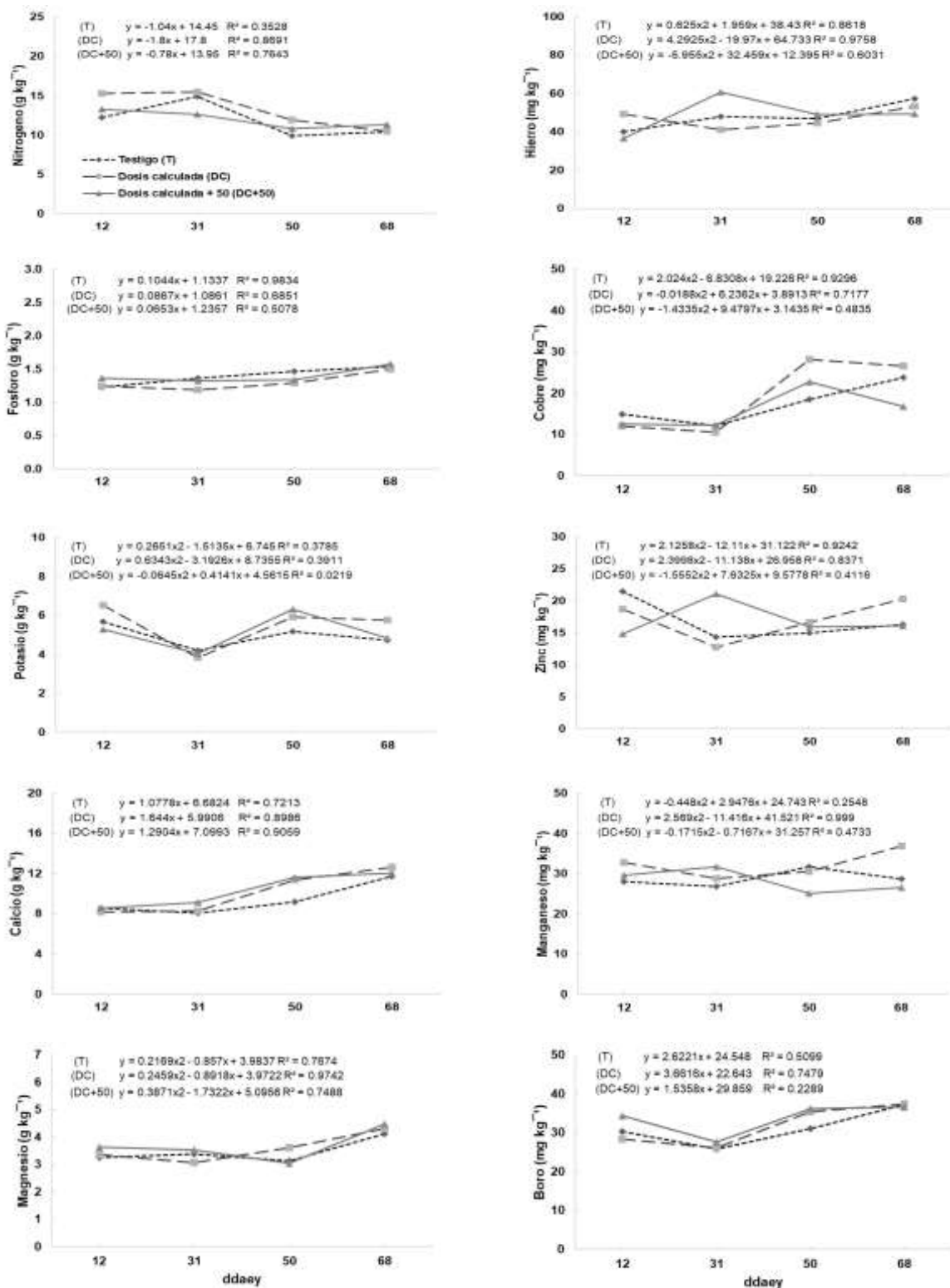


Figura 2. Distribución estacional de la acumulación de nutrientes en brotes de higo (concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B) en diferentes tratamientos de fertilización (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal (ddaey).

5.1.3 Concentración nutrimental en frutos

Las concentraciones de N, P, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B fueron relativamente altas al inicio del desarrollo del fruto, disminuyendo sistemáticamente con su crecimiento hasta llegar a la cosecha obteniendo los siguientes valores promedio: N de 16.7 a 7.5 g kg⁻¹, P de 1.6 a 1.1 g kg⁻¹, Ca de 5.8 a 2.1 g kg⁻¹, Mg de 2.4 a 1.1 g kg⁻¹, Fe de 38.5 a 28.5 mg kg⁻¹, Cu de 6.7 a 6.2 mg kg⁻¹, Zn de 14.8 a 8.1 mg kg⁻¹, Mn de 22.8 a 6.9 mg kg⁻¹ y B de 29.9 a 18.4 mg kg⁻¹; mientras que K aumento ligeramente de 6.0 a 6.1 g kg⁻¹ (Figura 3). La disminución de N coincide con el crecimiento y desarrollo de frutos y hojas cuando la demanda es alta, porque es esencial en la división y expansión celular, por lo tanto, en el crecimiento (Mendoza *et al*, 2019). Además, el nitrógeno juega un papel importante en el metabolismo de las plantas, así como en la cantidad y calidad del fruto. La concentración de K (6.1 g kg⁻¹) en los frutos a los 68 días, después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal que corresponde a la cosecha de higos fue mayor a la de hojas (5.2 g kg⁻¹) y brotes (5.1 g kg⁻¹). Kant y Kafkafi, (2002) estudiaron la absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos y mencionan que los frutos pulposos acumulan altos niveles de K, estos órganos movilizan el K desde las hojas, pero, sí, durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas los niveles son bajos, la demanda en una fase posterior del crecimiento de los frutos puede dar lugar a deficiencias en hojas; este agotamiento de K en las hojas hace que la remobilización hacia los órganos fructíferos conduzca a una reducción en su actividad fotosintética que más adelante provocará una menor producción o disminución de la calidad de los frutos.

La translocación del K desde las hojas a los frutos en desarrollo es también notable en los árboles frutales; como duraznos, donde el K foliar disminuyó luego de la floración, mientras que los

árboles sin frutas mostraron una cantidad constante de K en las hojas durante la etapa de crecimiento y algo similar pasa con manzano, nogal y litchi (Kant y Kafkafi, 2002).

Las concentraciones de P, K, Cu y B presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos a los 50 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal, mientras que N, Fe y Zn presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a los 12 días.

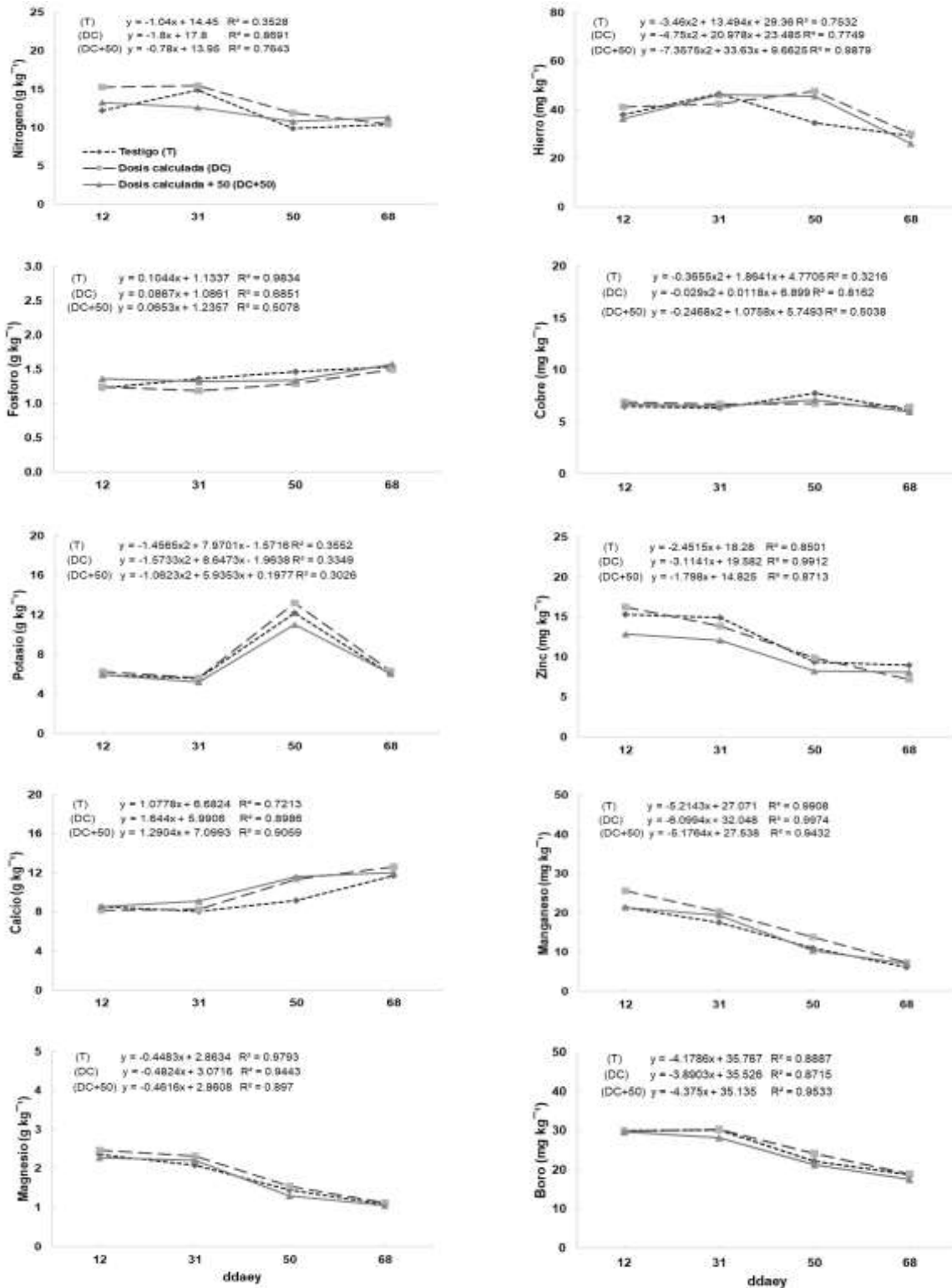


Figura 3. Distribución estacional de la acumulación de nutrientes en frutos de higo (concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B) en diferentes tratamientos de fertilización (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema vegetativa terminal (ddaey).

5.1.4 Extracción de nutrientes en la cosecha

Para la extracción de nutrientes en la cosecha, los valores obtenidos por la acumulación de peso fresco y seco, estadísticamente no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tres tratamientos, sin embargo, los frutos del tratamiento 2 (DC) extrajeron mayor cantidad de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B (Cuadro 4). Este comportamiento está relacionado con la mayor cantidad de materia seca en los frutos de este tratamiento.

La cantidad total de extracción de los nutrimentos para el tratamiento testigo tuvieron el siguiente orden: N > K > Ca > Mg > P > Fe > B > Mn > Cu = Zn y para los tratamientos 2 y 3 (DC, DC+50) fue: N > K > Ca > Mg > P > Fe > B > Mn > Zn > Cu.

Los datos sobre la concentración (g kg^{-1} de materia seca) de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) extraídos en la cosecha en el presente experimento fueron similares a los reportados por Rivera *et al.* (2017), con excepción del K donde obtuvo una mayor concentración, considerando los datos donde alcanzaron un mayor rendimiento al evaluar la respuesta de la higuera a la aplicación de nitrógeno y potasio en riego por goteo y alta población en la región Lagunera, con valores de 7.1, 0.7, 12.1, 2.3 y 0.8 g kg^{-1} para N, P, K, Ca y Mg respectivamente.

Cuadro 4. Cantidad total de nutrientes en frutos de higo fresco extraídos en la cosecha.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
g t ⁻¹ de fruto fresco										
Testigo (T)	480.98 a	74.33 a	359.44 a	166.45 a	82.23 a	3.21 a	0.48 a	0.48 a	0.58 a	1.43 a
Dosis calculada (DC)	708.89 a	99.69 a	495.39 a	234.57 a	121.37 a	3.60 a	0.61 a	0.83 a	0.89 a	2.37 a
Dosis calculada + 50 (DC+50)	659.19 a	87.59 a	419.15 a	189.55 a	100.10 a	3.35 a	0.59 a	0.62 a	0.79 a	1.97 a

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$)

5.2 Variables de producción

5.2.1 Rendimiento

Los rendimientos obtenidos a pesar de las distintas dosis de fertilización, estadísticamente no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), sin embargo, el tratamiento 2 (DC) obtiene el mayor rendimiento con 6 449.5 kg h⁻¹, seguido del tratamiento 1 (testigo) con 6 259.1 kg h⁻¹ y al final el tratamiento 3 (DC+50) con 5 503.2 kg h⁻¹ (Figura 4). Un estudio realizado por Pérez, (2019), reporta valores promedio similares de 7.25 ton ha⁻¹ con el 75% de evapotranspiración real o consumo de agua (ETr) y 5.24 ton ha⁻¹ al 100% de ETr, mencionando que los rendimientos de higo a cielo abierto van en promedio de 6 a 8 ton por hectárea. Por otro lado, Rivera *et al.* (2017) al evaluar diferentes dosis de N por árbol de higo (82 g, 117 g, 152 g y 81.9 g + 32.5 g de K en aplicación foliar), no encontró respuesta a las dosis de N evaluadas, al contrario, observó una disminución de rendimiento a medida que aumenta la dosis aplicada, obteniendo 4.7 t ha⁻¹ para la dosis de 117 g y de 8.5 t ha⁻¹ para la de 81.9 g + 32,5 g de K. Esta tendencia también fue encontrada

por Hernández *et al.* (1994) para dosis de aplicación de N de 150 a 750 g por árbol. De la misma manera Birgul *et al.* (2008) tampoco encontraron diferencia significativa en la producción de frutos ($t\ ha^{-1}$) para dosis de N evaluadas de 100 a 500 g por árbol, encontrando la misma tendencia de reducir la producción al aumentar la dosis aplicada de N.

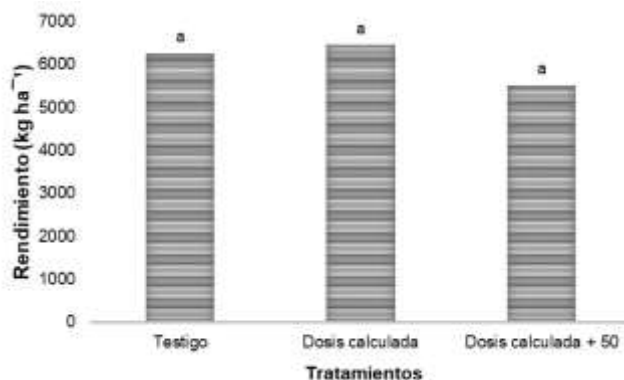


Figura 4. Rendimiento de frutos de higo en diferentes tratamientos (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%).

5.2.2 Peso fresco, diámetro y longitud del fruto

Estadísticamente no se muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, sin embargo, para la cosecha se puede observar un peso mayor en el tratamiento de la dosis calculada, de 32 g, seguido de 29.51 g y 29.18 g para el tratamiento de la dosis calculada + 50% y testigo, respectivamente (Figura 5 A); dichos valores son similares a los obtenidos por Pérez, (2019) con 30.9 g al evaluar la producción y calidad del fruto de higuera bajo dos regímenes de humedad en la región Lagunera en Coahuila. De igual manera, los valores coinciden con Rivera *et al.* (2017), al obtener pesos de 29.2 a 32.7 con la aplicación de distintas dosis de N por árbol de higo.

El crecimiento del higo 'Black Mission' coincide con una curva doble sigmoide reportada para este frutal, la cual comprende tres fases; fase de división celular (I), fase de transición (II) y la fase de expansión celular (III) (Owino *et al.*, 2006, Rosianski *et al.*, 2016 y Bahar y Lichter, 2018). El

diámetro de fruto obtuvo un promedio de 36.87 mm a los 68 días correspondientes a la cosecha (Figura 5 B). Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron similares a los reportados por Reyes, (2018) obteniendo valores promedio de entre 28.9 y 35.6 mm al evaluar la calidad de fruto de higo con aplicaciones foliares de calcio, traslocado por quelatos EDTA y glicina.

Cabe mencionar que las medidas para diámetro y longitud pueden variar de acuerdo a los diferentes cultivares; por ejemplo, Mendoza *et al.* (2017) al desarrollar sistemas intensivos de producción de higos bajo condiciones de invernadero utilizando un cultivar criollo denominado regionalmente como “Netzahualcoyotl”, obtuvieron una variación que fluctuó entre 52.9 y 45.6 mm de diámetro. Por otro lado, Kurubar *et al.*, (2017) al evaluar los efectos de fertilización orgánica e inorgánica en la producción y calidad de frutos de higo cultivar “Poona” obtuvieron en su mejor tratamiento un diámetro de 55.6 mm.

Se encontraron valores de longitud promedio de 49.46 mm a los 68 días en la cosecha (Figura 5 C), estos resultados son similares a los obtenidos por Reyes, (2018) al llegar a la cosecha con valores promedio de entre 36.9 a 52 mm, al evaluar la calidad de frutos de higo con aplicación de calcio foliar, traslocado por quelatos EDTA y glicina. Ciarmiello *et al.* (2015) propone que el higo se puede clasificar de acuerdo a su tamaño en mediano, largo o muy largo; el mediano presenta medidas de 35 a 49 mm de diámetro y 28 a 54 mm de longitud.

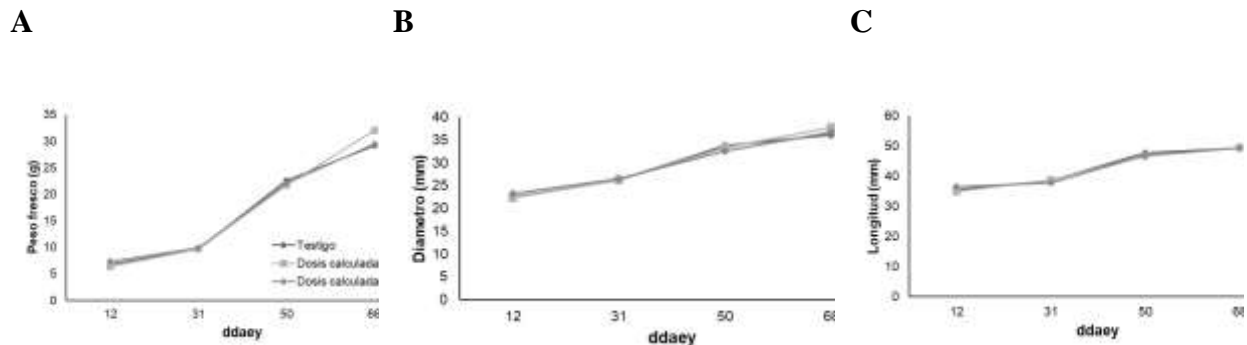


Figura 5. Distribución estacional del peso fresco, diámetro y longitud de frutos de higo en diferentes tratamientos (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%) en el período de 1 a 68 días después de la apertura de las escamas de la yema terminal (ddaey).

5.3 Variables de calidad de fruto

5.3.1 Color

Estadísticamente no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos en relación al color, obteniendo un valor promedio de luminosidad de 28.36; resultados similares a los reportados por Crisosto *et al.* (2010) quienes compararon la variable de color en higos del cultivar ‘Black Mission’, en diferentes etapas de maduración y encontraron que los frutos de madurez avanzada tuvieron una coloración más morada en relación a los índices de madurez restantes. El color de la piel expresado como luminosidad fue en promedio de 30,86.

Tanto la firmeza de la fruta y el color se consideran los principales indicadores de cosecha para higos frescos (Bahar y Lichter, 2018). En alimentos vegetales pigmentados, el color es producido por antocianinas, clorofilas o carotenoides (Solomon, 2006). En los higos el color, indica madurez y calidad (Soberanes, 2020); la variedad Black Misión se caracteriza por frutos de color púrpura oscuro, que contienen los mayores niveles de polifenoles y flavonoides, así como mayor actividad antioxidante, comparada con otras variedades. Las diferencias del color púrpura de los frutos

pueden deberse a la expresión diferencial de genes que controlan la vía de las antocianinas, con una expresión más alta asociada a un tono más oscuro (Solomon, 2006).

5.3.2 Firmeza

En este trabajo se encontró que para la variable firmeza no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos.

La textura del higo es un parámetro muy importante para la aceptación del consumidor, una textura demasiado blanda puede ser rechazada y puede aumentar el grado de lesión mecánica. La alta caducidad de los higos se atribuye a su delicado tejido epidérmico, que es muy sensible a las heridas y deterioro por mohos. Para reducir las pérdidas, es aceptable practicar la cosecha de los higos justo antes de la plena madurez (Bahar y Lichter, 2018)

5.3.3 Sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales (SST) en los frutos de higo, estadísticamente no presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, no obstante, se puede observar un contenido ($^{\circ}$ Brix) más alto en el tratamiento 2 (DC), con un valor de 20.4, con respecto al testigo con 18.75 $^{\circ}$ Brix; valores similares a los reportados por Crisosto *et al.* (2010) al evaluar la calidad de cuatro cultivares de higo fresco cosechados en dos etapas de madurez, reportando para 'Black Mission' de 15.9 a 19.1%.

Por otra parte, Sharma, S. K. y S. D. Badiyala, (2006) concluyen que la producción de SST es diferente dependiendo de los cultivares, encontrando de 16.6 a 22.4 $^{\circ}$ Brix.

El higo aporta compuestos energéticos en forma de almidones y azúcares, como la glucosa y fructosa. A medida que la maduración avanza, aumenta la proporción de azúcares desdoblados

tales como, sacarosa, glucosa, fructosa y otros oligosacáridos que procede de la hidrólisis del almidón, resultando el producto más dulce hasta llegar a su máximo dulzor (Aljane *et al.*, 2007).

5.3.4 Ácido ascórbico

Estadísticamente los valores del ácido ascórbico (vitamina C), no muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, obteniendo valores de 3.6 a 3.7 mg.

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en la calidad de frutos de higo cosechados en madurez de consumo.

Tratamiento	Color			Firmeza (N)	SST (°Brix)	Vitamina C (mg)
	L	C	°Hue			
Testigo (T)	27.96a	3.055a	119.46a	0.23a	18.75a	3.6a
Dosis calculada (DC)	28.52a	3.71a	108.83a	0.22a	20.42a	3.7a
Dosis calculada + 50 (DC+50)	28.62a	3.98a	116.60a	0.26a	18.67a	3.7a

Color (L=luminosidad, C=Índice de saturación o Chroma y Hue° =ángulo de tono), firmeza, sólidos solubles totales y vitamina C) en los diferentes tratamientos (testigo, dosis calculada, dosis calculada + 50%). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes de acuerdo con Tukey ($p \leq 0.05$).

6 CONCLUSIÓN

Los estudios sobre la variación nutrimental permiten conocer la composición mineral en los diferentes órganos de la planta para determinar una recomendación cuantitativa de programas de fertilización.

La nutrición del higo debe realizarse considerando el estatus nutrimental de los árboles, fertilidad del suelo, meta de producción, disponibilidad y costo de los fertilizantes.

La fertilización permite suministrar con precisión la cantidad de nutrientes extraídos por el árbol de higo, en las etapas fenológicas de mayor demanda.

La concentración de los nutrientes de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B no tuvo diferencias significativas entre tratamientos durante la etapa de maduración de frutos, en los diferentes órganos analizados de la planta (hojas, brotes y frutos), sin embargo, las dosis de aplicación de fertilizantes fueron distintas; al aplicar cantidades menores en los tratamientos 2 y 3 (DC y DC+50), respecto al testigo (dosis del productor), lo que implica una reducción de costos y evitar contaminación ambiental por lixiviación de nutrientes en exceso.

El rendimiento de fruto en kg ha^{-1} , no mostro diferencias significativas entre los tratamientos.

En cuanto a la evaluación de parámetros de calidad postcosecha, los frutos no mostraron diferencia significativa entre tratamientos.

Se requiere realizar trabajos adicionales para llegar a conclusiones finales, debido a que los resultados aquí presentados son preliminares.

7 LITERATURA CITADA

- Alejo S, G., Luna E, G., Salcedo P, E., Sánchez H, R. y Aburto G, Circe A. 2015. Dinámica de crecimiento y extracción nutrimental del fruto de litchi (*Litchi chinensis* sonn) cv. Brewster. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 1-12.
- 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 Journal of Biotechnology* 6:599–602. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2055>
- Bahar, Askin & Lichter, Amnon. 2018. Effect of controlled atmosphere on the storage potential of Ottomanit fig fruit. *Scientia Horticulturae*. 227. 196-201. 10.1016/j.scienta.2017.09.036.
- Balas, Francisco, Osuna, Maria, Domínguez, G., Pérez-Gragera, F. y López Corrales, Margarita. 2014. Ex situ conservation of underutilised fruit tree species: Establishment of a core collection for *Ficus carica* L. using microsatellite markers (SSRs). *Tree Genetics & Genomes*. 10. 703-710. 10.1007/s11295-014-0715-3.
- 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.
- Barolo, M. I., Ruiz M, N. y López, S. N. 2014. *Ficus carica* L. (Moraceae): an ancient source of food and health. *Food chemistry*, 164, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.112>
- Birgul E., C. Ferit, S. Berrin, A. Belge, K. Rama-zan y T. Mahmut. 2008. Effects of nitrogen rates on yield and fruit quality of fig (*Ficus carica* L.). *International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology Turkey*. pag. 403-411.
- Boyd, L., Barnett, A., Civolani, C. y Fini, E. (2010). EXCAVACIONES DE PLANTA COMPLETA PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN VIÑAS DE KIWIF 'HORT16A'. *Acta Hortica*. 868, 171-176 DOI: 10.17660/ActaHortic.2010.868.19
- Brown, PH. 1994. Variación estacional en higo (*Ficus carica* L.) concentraciones de nutrientes en las hojas. *hortciencia*. 29:871–873.
- Ciarmiello, Loredana, F. Piccirillo, P. Carillo P. De Luca, A. y Woodrow, P. 2015. Determination of the genetic relatedness of fig (*Ficus carica* L.) accessions using RAPD fingerprint and their agromorphological characterization. *South African journal of Botany*. 97:40-47 ISSN 0254-6299, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.11.012>.
- Cristosto, C.H., Bremer, V., Ferguson, L.. and Crisosto, G.M. 2010. Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. *HortScience* 45(4), 707-710.

- Cruz D, D., Leos R, J. A. y Altamirano C, J. R. 2013. México: factores explicativos de la producción de frutas y hortalizas ante la apertura comercial. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(3), 267-278. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.05.029>
- Espinosa R, M., Sandoval V, M., Ocampo, O., Pérez P, R., Sabino L, J. y García, E. 2020. El mercado de la uchuva en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11. 1789-1802. 10.29312/remexca.v11i8.2228.
- Etchevers, Jorge D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17 (3),209-219 ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317305>
- Fernández, P. y García, F. y Fernández, J. 2010. Estimación de las extracciones de nutrientes en el cultivo de cerezo en la Región de Murcia. Implicaciones del nitrógeno. V Jornadas Fertilización SECH. *Actas de Horticultura* 66, pp. 167-175.
- Fernández, Y., García C, J., Fernandez P, S. y Muratalla L, A. 2020. Deficiencias nutrimentales inducidas en higuera cv. Neza en condiciones hidropónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11. 581-592. 10.29312/remexca.v11i3.2073.
- Flaishman MA, Rodov V, Stover E. 2008. The Fig: Botany, horticulture and breeding. *Hortic Rev* 34: 113-197.
- García Ruíz, M. T. 2014. Caracterización morfológica y genética de variedades mexicana de higo (*Ficus carica* L.). Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.
- Hernández., F.B.T, J.C. Modesto, M.A Suzuki, L.S. Correa y K. Reichardt. 1994. Effects of irrigatio and nitrogen levels on qualitative and nutritional aspects of fig –trees (*Ficus carica* L.). *Sci. Ag–ric.*, Piracicabavol 5(2) pag. 292-297
- Irget, Mehmet & Aksoy, Uygun & Okur, B. & Ongun, A. & Tepecik, Mahmut. 2008. Effect of calcium based fertilization on dried fig (*Ficus carica* L. cv. Sarilop) yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 118. 308-313. 10.1016/j.scienta.2008.06.024.
- Izarra, W., & Lopez, F. 2014. Servicio Nacional de Metereologia e Hidrologia. Obtenido de Manual de observaciones fenologicas: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/manual_fenologico.pdf
- Jiménez, C.P. 2016. Comportamiento agronómico y estudio del punto óptimo de maduración nutricional y funcional de variedades de higuera interesantes para consumo en fresco.
- Jones, JB, B. Wolf y HA Mills. 1991. Manual de análisis de plantas: una guía práctica de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Micro-Macro Publishing, Atenas.
- Kant, S., y Kafkafi, U. 2002. Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agricultural, 263–279. Retrieved from <https://www.ipipotash.org/udocs/Sesion V.pdf>
- Krauss, A. 2003. El potasio y el stress biótico. International Potash Institute Switzerland, 280-293. Disponible en www.ipipotash.org/udocs/sesion V.pdf.

- Kurubar. 2017. Effect of organic and inorganic fertilizers on fruit characters, quality and economics of fig production (*Ficus carica* L.) A.R. Kurubar^{1,a}, T.B. Allolli², M.K. Naik¹ and S.G. Angadi³ Acta Hort. 1173. ISHS 2017. DOI 10.17660/ActaHortic.2017.1173.36
- López Corrales, Margarita & Pérez, F. & Serradilla, Manuel & Pereira, Cristina. 2012. Estructura varietal del cultivo de la higuera en Extremaduras. La agricultura y ganadería extremeña. 121-130.
- López Corrales, Margarita, Torres, Francisco, Pereira, Cristina, Serradilla, Manuel, Gragera, Fernando y Domínguez, Guadalupe. 2013. Situación actual y perspectivas del cultivo de la higuera en España. Vida Rural. 22-28.
- López G, F. y Osuna, M. 2017. Cambio generacional del consumo de frutas y verduras en México a través de un análisis de edad-periodo-cohorte. Población y Salud en Mesoamérica. 1994-2014. 15. 10.15517/psm.v15i2.28458.
- López, C. M., Gil, T. M., Pérez, G. F., Cortés, P. J., Serradilla, S. M. & Chome, F. P. M. 2011. Variedades de Higuera. Descripción y registro de variedades. Akasa. Madrid, España. 205 p.
- Maathuis F. J. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. Current opinion in plant biology, 12(3), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>
- Márquez G, S. Y., Figueroa V, U., Cueto W, J. A., Arreola A, J. G., Zegbe D, J. A. y Trejo C, R. 2019. Variación estacional de la concentración foliar de nutrimentos en huertas de higuera bajo sistemas de producción intensiva. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10(3), 525-537. Epub 30 de marzo de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1272>
- Marschner, P. 2012 Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3th ed. Academic Press, San Diego, USA. 651 pp.
- Melgarejo, P. 1999. El cultivo de la higuera (*Ficus carica* L.) IRAGRA, S. A. Madrid.
- 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, V. M., Vargas, J. M., Calderón, G., Mendoza, C, M. D. C. and Santacruz, A. 2017. Intensive production systems of fig (*Ficus carica* L.) under greenhouse conditions. Experimental Agriculture 53(03):339–50. doi: 10.1017/S0014479716000405.
- Mendoza, V. M., Pineda, J., Vargas, J. y Hernández, E. 2019. Nutrition of fig (*Ficus carica* L.) under hydroponics and greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition. 1-16. 10.1080/01904167.2019.1609510.
- Moñino M, Rodrigues E, Tapia, M. S., Domper A., Vio, Fernando, Curis, Alberto, París, Floria, Martínez, Nuria, Sénior, Adriana, Galeano, Hans, Gamboa, Cecilia, Elizabeth Alvarado, Paula, Estradas, Juan José y Rey, Joaquín. 2016. Evaluación de las actividades de promoción de consumo de frutas y verduras en 8 países miembros de la Alianza Global de

- Promoción al Consumo de Frutas y Hortalizas "5 al día" - AIAM5. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética, 20(4), 281-297.
- Moeiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. y Cuadrado, C. (2013). Tabla de composición de alimentos: Brevas e higos. Ed: Piramide, 249-250.
- Moreno, DA, G. Pulgar, G. Villora y L. Romero. 1998. Diagnóstico nutricional de las hojas de higuera. *J Plant Nutr.* 21:2579–2589.
- Morgado-González, A., Becerril-Román, A.E, Calderón-Zavala, G., García-Villanueva, E., Velasco-Cruz, C. y Alberto-Villa, J. 2018. BIOESTIMULANTES Y NUTRIMENTOS FOLIARES EN LA PRODUCCIÓN DE HIGO (*Ficus carica* L.) ‘CAFÉ DE TURQUÍA’. *Agro Productividad*, 11(9). <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i9.1209>
- Nachtigall, GR y Dechen, AR. 2006. Estacionalidad de nutrientes en hojas y frutos de manzano. *Scientia Agricola*, 63 (5), 493-501. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000500012>
- Navarro-García, G. y S. Navarro-García. 2014. Fertilizantes, Química y Acción. España: MundiPrensa.
- Nieto, C., Jarrin, P., & Pinto, N. (Julio de 2007). EL HIGO Manual de producción uso y aprovechamiento. Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/946/1/L-SENESCYT-0070.pdf>
- Norman, AG y Bremner, JM. 1965. Nitrógeno total. Monografía de Agronomía. doi:10.2134/agromonogr9.2.c32
- Owino, W. O., Manabe, Y., Mathooko, F. M., Kubo, Y., & Inaba, A. 2006. Regulatory mechanisms of ethylene biosynthesis in response to various stimuli during maturation and ripening in fig fruit (*Ficus carica* L.). *Plant physiology and biochemistry* : PPB, 44(5-6), 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2006.03.009>
- Perez, P., T. 2019. Producción y calidad del fruto de higuera bajo dos regímenes de humedad en la región Lagunera. Tesis de maestría. Tecnológico Nacional De México.
- Pineda-Pineda, J. y Avitia-García, E. y Castillo-González, A. M. y Corona-Torres, T. y Valdez-Aguilar, L. A. y Gómez-Hernández, J. 2008. Extracción De Macronutrientes En Frambueso Rojo. *Terra Latinoamericana Volumen 26 Número 4*, pp. 333-340. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n4/v26n4a6.pdf>
- Razeto, B. 2006. Para entender la fruticultura. 4º edición, Ed. Bruno Razeto. Santiago, Chile. 518p.
- Restrepo B, L. F., Urango M, L. A. y Deossa R, G. C. 2014. Conocimiento y factores asociados al consumo de frutas por estudiantes universitarios de la ciudad de Medellín, Colombia. *Revista chilena de nutrición*, 41(3), 236-242. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182014000300002>

- Reyes Gutiérrez M. A. 2018. Evaluación de calidad de fruto de higo (*Ficus carica* L.) con aplicación de calcio foliar, traslocado por quelatos edta y glicina. Tesis de ingeniería. Universidad Autónoma Del Estado De México.
- Rhman, I.E., Attia, M.F., Genaidy, E.A.E., Haggag, L.F. 2017. Effect of potassium and supplementary irrigation on growth, yield and fruit quality of fig trees (*Ficus carica* L.) under drought stress conditions. Middle East Journal of Agriculture Research, 6(4), 887-898.
- Rivera, G.; Delgado R.; Muñoz V.; Macías R. y Jacobo, S. R. 2017. Respuesta de la higuera a la aplicación de nitrógeno y potasio en riego por goteo y alta población en la Región Lagunera. AGROFAZ. 17(2):39-44
- Rodríguez, H.M., Villalobos, J.A., González, M.R., Ramírez, G., & Castorena, M.M. 2017. Mejor época del año para propagar higuera (*Ficus carica* L.) con acodo aéreo y fitohormonas en la Región Lagunera. Agrofaz. 17: 31-38
- Rosianski Y., Z. E. Freiman, S. C. Milo, Z. Yablovitz, Z. Kerem and M. A. Flaisman. 2016. Advanced analysis of developmental and ripening characteristics of pollinated common-type fig (*Ficus carica* L.). Scientia Horticulturae 198: 98-106. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.11.027
- Sánchez, E. y Curetti, M. 2009. Producción y Manejo Nutricional de Frutales de Clima Templado. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/4E473D1CD6C9948685257995007552C8/\\$FILE/IA%2044.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/4E473D1CD6C9948685257995007552C8/$FILE/IA%2044.pdf)
- Sharma, S. K. and S. D. Badiyala. 2006. Variability studies in common fig in Hamirpur district of Himachal Pradesh. Indian Journal of Horticulture 63 (2): 159-161.
- Sierre-Bernal C. 2003. Fertilización de cultivos frutales en la zona norte. Boletín INIA N° 97. Disponible en: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/Boletines/NR30028.pdf>
- Soberanes-Pérez, A. Calderón-Zavala, G. López-Jiménez, A. y Alvarado-Raya, H. E. 2020. Biorreguladores para la producción de higo bajo condiciones de invernadero. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 43 (1): 61 - 69, 2020
- Solomon, A.; S. Golubowicz, S.; Z. Yablowicz, Z.; S. Grossman; M. Bergman; H. Gottlieb; A. Altman; Z. Kerem; M. A. Fleishman. 2006. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). J. Agric. Food Chem. 54 (20): 7717-7723.
- Tehryung Kim & Hazel Wetzstein. 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
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2016. USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Release 28, 2002 from the Nutrient Data Laboratory Home Page: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>.

- Veneklaas, E. J., Lambers, H., Bragg, J., Finnegan, P. M., Lovelock, C. E., Plaxton, W. C., Price, C. A., Scheible, W. R., Shane, M. W., White, P. J., & Raven, J. A. 2012. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *The New phytologist*, 195(2), 306–320. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04190.x>
- Villalva M, A., Damián N, A., González H, V., Talavera M, O., Hernández C, E., Palemón A, F., Díaz V, G. y Sotelo N, H. 2015. Nutrición química y orgánica en aguacate Hass en Filo de Caballos, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11: 2169-2176.