



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**PODAS Y ABONO ORGÁNICO EN LA CALIDAD DE *Ficus carica*,
PRODUCIDO BAJO INVERNADERO**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS
POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA**

PRESENTA

ITZEL OCHOA VIVEROS

DIRECTOR DE TESIS

DRA. DELIA MORENO VELÁZQUEZ

CODIRECTOR

DRA. ANA MARIA MENDOZA WILSON

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2024.



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**PODAS Y ABONO ORGÁNICO EN LA CALIDAD DE *Ficus carica*,
PRODUCIDO BAJO INVERNADERO**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**MAESTRO(A) EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS
POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA**

PRESENTA

ITZEL OCHOA VIVEROS

DIRECTOR DE TESIS

DRA. DELIA MORENO VELÁZQUEZ

CODIRECTOR

DRA. ANA MARIA MENDOZA WILSON

ASESORES

DRA. ESTRELLA LARA CORTÉS

DR. ARMANDO IBÁÑEZ MARTÍNEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2024.

La presente tesis titulada: PODA Y ABONO ORGÁNICO EN LA CALIDAD DE *Ficus carica*, PRODUCIDO BAJO INVERNADERO y realizada por ITZEL OCHOA VIVEROS, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES PARA
LA AGRICULTURA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:

Firma

Directora: DRA. DELIA MORENO
VELÁZQUEZ

Moreno Velázquez Delia.

Codirectora: DRA. ANA MARIA MENDOZA
WILSON

Ana Ma Mendoza W.

Asesora: DRA. ESTRELLA LARA CORTÉS

Edi

Asesor: DR. ARMANDO IBÁÑEZ MARTÍNEZ

Armando I. Martínez

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2024.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **BUAP-CA-313 Manejo Integral de Cultivos Agrícolas** y de la Línea de Investigación: **Cambios Fisiológicos, Fisicoquímicos y Bioquímicos en el Manejo de Cultivos y Productos Hortícolas**. Dicho trabajo, fue financiado por el cuerpo académico.

DEDICATORIA

Con todo el cariño y la admiración a mis padres y hermano, que me alientan y llenan de luz mi camino para alcanzar cada una de mis metas.

Gracias Dios por el privilegio de la vida y la oportunidad de seguir adelante en mi camino como profesionista.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias por ser parte de mi proceso y enseñanza como alumna de tan apreciable institución.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) por brindarme el espacio y los recursos necesarios para el desarrollo de la investigación.

Mi gratitud y respeto se extiende a la Dra. Delia Moreno Velázquez y la Dra. Ana María Mendoza Wilson, por su dedicación y apoyo para la dirección y enriquecimiento del trabajo, siendo pilares fundamentales, así como también agradezco a la Dra. Estrella Lara Cortés y al Dr. Armando Ibáñez Martínez como guías y participes en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos particulares.....	4
III. HIPÓTESIS	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1 Origen y evolución del cultivo de higo.....	6
4.2 Taxonomía	7
4.3 Fenología	8
4.4 Características del cultivo	8
4.4.1 Sistema radicular	8
4.4.2 Tronco/ Ramas	8
4.4.3 Copa/ Hojas	9
4.4.4 Flores	9
4.4.5 Fruto o sicono	9
4.4.6 Fructificación	10
4.4.7 Sexualidad	10
4.4.8 Propagación	11
4.4.8.1 Reproducción sexual	12
4.4.8.2 Estacas	12
4.4.8.3 Acodo aéreo	12

4.4.8.4 Injerto.....	12
4.5 Manejo del cultivo de higo	13
4.5.1 Selección de la planta	13
4.5.2 Tipo de suelo	13
4.5.3 Fertilización	13
4.5.4 Abonos orgánicos	14
4.5.5 Requerimientos hídricos	15
4.5.6 Requerimientos climáticos	15
4.5.7 Densidad de plantación	15
4.5.8 Poda	16
4.6 Producción	18
4.7 Variedades	18
4.7.1 Black Mission	18
4.7.2 Kadota	19
4.7.3 Tiger	19
4.7.4 Cuello de dama	19
4.7.5 Brown Turkey	19
4.7.6 Netzahualcóyotl	19
4.8 Desarrollo del sicono	20
4.9 Cosecha del sicono	20
4.10 Índices de madurez	21
4.11 Composición nutrimental del higo	21
4.12 Actividad antioxidante	25
4.13 Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier y Reflectancia total atenuada (FTIR- ATR)	26
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1. Localización.....	29
5.2 Material vegetal	29
5.3 Diseño experimental	30

5.4 Variables evaluadas	30
5.4.1 Temperatura y humedad relativa	30
5.4.2 Grados días de desarrollo	30
5.4.3 Características fisicoquímicas del sustrato	31
5.4.3.1 Potencial de hidrógeno (pH)	31
5.4.3.2 Conductividad eléctrica (C.E)	31
5.4.3.3 Materia orgánica (M.O).....	31
5.4.3.4 Determinación de nitrógeno y fósforo	33
5.4.4 Crecimiento y desarrollo vegetativo	33
5.4.4.1 Número de nudos en el tallo	33
5.4.4.2 Diámetro del tallo	33
5.4.4.3 Número de ramas	33
5.4.4.4 Velocidad de crecimiento de las ramas	33
5.4.4.5 Diámetro basal y apical de la rama	33
5.4.4.6 Número de nudos por ramas	33
5.4.4.7 Número de hojas por rama	33
5.4.5 Calidad de la infrutescencia	33
5.4.5.1 Peso de la infrutescencia	33
5.4.5.2 Diámetro polar, ecuatorial y forma	33
5.4.5.3 Firmeza	33
5.4.5.4 Sólidos solubles totales	33
5.4.5.5 pH	34
5.4.5.6 Ácido cítrico	34
5.4.5.7 Contenido de vitamina C	34
5.4.6 Cuantificación de compuestos fenólicos totales, antocianinas y procianidinas	35
5.4.6.1 Extracción de compuestos fenólicos totales	35
a. Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales	35
b. Determinación de flavonoides	35
c. Determinación de flavonoles	36

5.4.6.2 Extracción de antocianinas	36
a. Determinación del contenido de antocianinas	36
b. Determinación de procianidinas	37
5.4.7 Determinación de la actividad antioxidante	38
a. Inhibición del radical DPPH	38
b. Inhibición del radical anión superóxido	38
c. Quelación de cobre	39
d. Determinación de poder reductor (FRP)	40
e. Cálculo del porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica	40
5.4.8 Cálculos computacionales de potencial químico	41
5.4.9 Análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier FTIR	41
5.4.10 Análisis estadístico	41
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
6.1 Temperatura y grados días de desarrollo	42
6.2 Características fisicoquímicas del sustrato	44
6.3 Crecimiento y desarrollo vegetativo	46
6.3.1 Número de nudos en tallo	46
6.3.2 Diámetro del tallo	46
6.3.3 Número de ramas	46
6.3.4 Velocidad de crecimiento de la rama	46
6.3.5 Diámetro basal y apical de la rama	47
6.3.6 Número de nudos por rama	47
6.3.7 Número de hojas por rama	47
6.4 Calidad de la infrutescencia	49
6.4.1 Peso de la infrutescencia	49
6.4.2 Diámetro polar, ecuatorial y forma	49
6.4.3 Firmeza	51
6.4.4 Sólidos solubles totales (SST)	52
6.4.5 pH.....	52

6.4.6	Ácido cítrico	52
6.4.7	Vitamina C	53
6.5	Cuantificación de compuestos fenólicos totales, antocianinas y procianidinas..	53
6.5.1	Compuestos fenólicos totales	53
6.5.2	Flavonoides	54
6.5.3	Flavonoles	54
6.5.4	Antocianinas	55
6.5.5	Procianidinas	55
6.6	Determinación de la capacidad antioxidante	58
6.6.1	Inhibición del radical DPPH	58
6.6.2	Inhibición del radical anión superóxido	58
6.6.3	Quelación de cobre	59
6.6.4	Poder reductor (FRP)	59
6.6.5	Inhibición de peroxidación lipídica	60
6.7	Cálculos computacionales de potencial químico	67
6.8	Análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier FTIR	70
VII.	CONCLUSIÓN.....	75
VIII.	LITERATURA CITADA.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Taxonomía del higo.....	7
Cuadro 2. Composición nutrimental de higo	22
Cuadro 3. Frecuencias vibracionales de algunos grupos funcionales en infrarrojo..	28
Cuadro 4. Diseño de tratamientos	30
Cuadro 5. Características fisicoquímicas del sustrato previo y después del desarrollo.....	45
Cuadro 6. Crecimiento vegetativo en plantas de higo Brown Turkey y Netzahualcóyotl con poda en tallo y rama	48
Cuadro 7. Diámetro polar, diámetro ecuatorial y forma en infrutescencias de higo en estado de maduración comercial	50
Cuadro 8. Parámetros de calidad organoléptica y nutricional en infrutescencias de higo al momento de su cosecha en madurez comercial	51
Cuadro 9. Compuestos fenólicos en infrutescencias de higo liofilizadas	57
Cuadro 10. Cálculos computacionales de potencial químico antocianinas presentes en infrutescencias de higo	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Morfología del higo	10
Figura 2. Higueras monoicas y dioicas	11
Figura 3. Estructura de los compuestos fenólicos y azúcares más abundantes en frutos de higo	25
Figura 4. Vibraciones moleculares fundamentales	27
Figura 5. Temperatura y humedad relativa registrada en el invernadero, de septiembre 2023 a septiembre 2024	42
Figura 6. Acumulación de grados días en el desarrollo de plantas de higo	44
Figura 7. Porcentaje de inhibición DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazilo)	61
Figura 8. Porcentaje de inhibición anión superóxido	62
Figura 9. Porcentaje de quelación de cobre	63
Figura 10. Poder reductor	64
Figura 11. Porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica	65
Figura 12. Moléculas de antocianinas presentes en infrutescencias de higo. Cianidina-3-rutinosido, b) Cianidina-3,5-diglucósido, c) Cianidina-3- malonilglucósido, d)(-) -Epicatequina-4,8-Cianidina-3-rutinosido.....	69
Figura 13. FIR de estándar. D-Fructosa (a), D-Glucosa (b), Acido gálico (c), (+) Catequina (d), Quercetina (e), y Procianidina (f).....	71
Figura 14. FIR de muestras de higo variedad Brown Turkey, a) Tratamiento 1, b) Tratamiento 2, c) Tratamiento 3, d) Tratamiento 4.....	72
Figura 15. FIR de muestras de higo genotipo Netzahualcóyotl, e) Tratamiento 5, f) Tratamiento 6, g) Tratamiento 7, h) Tratamiento 8.....	73

RESUMEN

El higo ha incrementado su demanda en los últimos años gracias a su aporte nutricional, la poca información que se tiene en cuanto a experiencias locales y manejo en el sector primario limitan su comercialización. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el desarrollo de las plantas y la calidad de las infrutescencias de higo cultivados con abono orgánico y podas de tallo y rama, bajo invernadero. Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2^3 , teniendo como factores y niveles, genotipo (Brown Turkey y Netzahualcóyotl), altura de tallo (25 y 50 cm) y longitud de rama (40 y 80 cm). Las variables evaluadas fueron grados días de desarrollo, características fisicoquímicas del sustrato, crecimiento y desarrollo vegetativo, características fisicoquímicas de las infrutescencias, actividad antioxidante, cálculos computacionales del potencial químico y análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier. El análisis estadístico fue completamente al azar con arreglo factorial y prueba de comparación de medias de Tukey. Los resultados revelaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en ambas variedades en cuanto a la acumulación de grados de días de desarrollo (GDD) en presencia de cada etapa fenológica, requiriendo menos acumulación 2239 GDD la variedad Netzahualcóyotl. La aplicación de poda a una menor altura en tallo y una mayor longitud en rama (25 cm altura de tallo y 80 cm de longitud de rama) favoreció el crecimiento de las infrutescencias y la concentración de SST, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos. Los análisis de espectroscopia expresaron la presencia de dichos fenoles ricos en flavonoles y procianidinas, que atribuyen a la buena capacidad antioxidante que mostraron al inhibir los radicales DPPH, anión superóxido, poder reductor, quelación de cobre y peroxidación lipídica.

Palabras claves: *Ficus carica*, vitamina C, fenoles, peso, número de nudos, diámetro del tallo.

ABSTRACT

Fig demand has increased in recent years thanks to its nutritional benefits; however, the limited information regarding local experiences and management in the primary sector restricts its commercialization. The objective of this study was to evaluate the development of fig plants and the quality of the infructescences cultivated with organic fertilizer and stem and branch pruning under greenhouse conditions. A completely randomized design with a 2³ factorial arrangement was used, considering genotype (Brown Turkey and Netzahualcoyotl), stem height (25 and 50 cm), and branch length (40 and 80 cm) as factors and levels. The variables evaluated included growing degree days (GDD), physicochemical characteristics of the substrate, vegetative growth and development, physicochemical characteristics of the infructescences, antioxidant activity, computational calculations of chemical potential, and Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy analysis. Statistical analysis was performed using a completely randomized factorial design and Tukey's multiple comparison test.

The results revealed statistically significant differences ($P \leq 0.05$) in both varieties regarding the accumulation of GDD during each phenological stage, with the Netzahualcoyotl variety requiring less accumulation (2239 GDD). Pruning at a lower stem height and greater branch length (25 cm stem height and 80 cm branch length) favored infructescence growth and increased concentrations of total soluble solids (TSS), organic acids, and phenolic compounds. FTIR spectroscopy analysis showed the presence of phenols rich in flavonols and procyanidins, contributing to the high antioxidant capacity observed, including inhibition of DPPH radicals, superoxide anion, reducing power, copper chelation, and lipid peroxidation.

Keywords: *Ficus carica*, vitamin C, phenols, weight, number of nodes, stem diameter.

I. INTRODUCCIÓN

El higo (*Ficus carica L.*) es uno de los frutales más antiguos que se conoce y es una de las especies más cultivadas en los países de la costa del Mediterráneo, especialmente Turquía, Argelia, Grecia, Italia y España (Souza *et al.*, 2013). Se le ha asociado a suelos secos y poco fértiles, con bajas precipitaciones y temperaturas de 15 °C a 40 °C; sin embargo, actualmente se ha desarrollado y diversificado satisfactoriamente en climas de origen templado, tropical y subtropical; destacando el amplio potencial como cultivo sostenible para la seguridad agroalimentaria ante la problemática actual del cambio climático.

La producción de higo a nivel mundial y nacional, del año 2016 a la fecha, ha incrementado (FAO, 2023) junto con la demanda por parte del consumidor, exigiendo la máxima calidad organoléptica, nutrimental, sanitaria y demás beneficios a la salud, que derivan de su composición química. En este sentido, esta fruta se considera una fuente rica de compuestos fenólicos con potencial antioxidante que pueden contribuir en la prevención de enfermedades desencadenadas por procesos oxidativos, como son las enfermedades crónicas de cáncer, afecciones cardiovasculares, diabetes, etc. (Aljane *et al.*, 2020; Vallejo *et al.*, 2012; Solomon *et al.*, 2006).

En México, los estados de Morelos, Veracruz, Baja California Sur y Puebla, con producción intensiva a cielo abierto o en invernadero son los que concentran la mayor producción de higo con las variedades comerciales más importantes a nivel nacional, Mission, Brown Turkey, Calimyrna, Kadota, Tiger y Sierra (SIAP, 2023). No obstante, la información sobre los requerimientos de manejo es escasa, limitando su expansión (InfoAgro, 2020; Sarkhosh y Andersen, 2020). Además, existen ecotipos adaptados con gran potencial para la producción en la región donde se encuentran, lo que requiere de estudios que aborden problemas de manejo agronómico, calidad y vida poscosecha.

Los suelos ideales para el buen desarrollo de este cultivo son los franco arenosos a franco arcillosos, con un pH óptimo de 6 a 8, ligeros, con buena aireación, contenido importante de materia orgánica y buen drenaje para evitar el encharcamiento que resulta fatal para las

raíces (Pratavia, 1990). Sin embargo, se adapta a todo tipo de suelo, salino, calizo, pedregoso, etc. (InfoAgro, 2021), lo cual exige de investigación específica.

Los abonos orgánicos están relacionados con la buena productividad agrícola; capaces de mantener los niveles de materia orgánica en el suelo que favorece la humedad, la aireación, estabilización de nutrientes y otros procesos de la planta que pueden complementar o remplazar los fertilizantes sintéticos, no obstante, son muy variables en sus características físicas y composición química, por lo que el estudio de ellos en diversos cultivos y en distintas localidades se justifica (García y Rodríguez, 2012; Ramos *et al.*, 2019).

La mayor calidad de un producto hortofrutícola se obtiene como resultado del manejo agronómico aplicado, medio ambiente en el que se desarrolla y características intrínsecas del genotipo; y una vez separado el fruto u hortaliza de la planta, todas las prácticas deben estar dirigidas a conservar la calidad el mayor tiempo posible, hasta llegar al consumidor final (Catraro, 2014).

El porte bajo y uso de podas ha cobrado importancia sobre la forma y producción de los árboles frutales (Gaaliche *et al.*, 2011), utilizada para estimular producción y acelerar o anticipar la cosecha dependiendo de las condiciones climáticas del lugar (Moura *et al.*, 2020); para mantener el equilibrio vegetativo, regular la fructificación, favorecer la producción de frutos sin daños, facilitar la recolección y obtener frutos de calidad (Melgarejo, 2000). En higo, a pesar de que la poda actualmente es muy utilizada en la producción intensiva, la investigación en relación con el tamaño ideal de la rama y altura del tronco, aún es escasa, principalmente en los ecotipos adaptados en nuestro país.

Silva *et al.* (2017) mencionan que los factores climáticos, como temperatura, humedad relativa y radiación, resultado de las estaciones del año o latitudes; influyen en el tiempo de inicio de cada etapa fenológica del higo, motivo por el cual es importante considerar los factores antes mencionados para determinar el índice de cosecha de los cultivos.

Además, la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se ha reportado ser más alta que la vitamina C, vitamina E y el Glutati6n (Solomon *et al.*, 2006); por esta raz6n, es relevante determinar el contenido de estos compuestos y su actividad antioxidante al caracterizar cultivos de relevancia comercial, como el higo, los cuales han sido sometidos

a un manejo agronómico y condiciones de producción diferente a las habituales, en la búsqueda de adaptarlos a diferentes condiciones climáticas; y, cuando se explora el potencial antioxidante, el empleo de un solo método es insuficiente para obtener información de los diferentes mecanismos involucrados, debido a que los fitoquímicos son compuestos multifuncionales (Frankel y Meyer, 2000). Por ello se recurre a diferentes métodos *in vitro* para medir la capacidad antirradical como parte del potencial antioxidante, entre estos están los que realizan mediciones espectrofotométricas a un determinado tiempo, los que siguen la reacción en el transcurso del tiempo (cinéticos) y los de química computacional.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el desarrollo de planta y calidad de infrutescencias de higo cultivados con abono orgánico y podas de tallo y rama, bajo invernadero.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar crecimiento y desarrollo de las plantas de higo producidos en invernadero con poda y estiércol ovino.
- ✓ Evaluar características fisicoquímicas y antioxidantes de infrutescencias de higo al momento de cosecha.

III. HIPÓTESIS

La poda del tallo y ramas en higo modifica la calidad de las infrutescencias cultivadas con estiércol ovino, bajo invernadero.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen y evolución del cultivo de higo

El higo (*Ficus carica*) es un árbol de origen asiático, considerado entre los cultivos más antiguos, incluso antes del trigo, la cebada y las legumbres cultivados desde tiempos memorables alrededor del año 5000 A.C. Fue introducido a las Américas por los españoles en 1575 y a México el cultivar Mission ingresó por la zona de California en 1769 (Sarkhosh y Andersen, 2020); se reportan aproximadamente 800 especies que han evolucionado junto con su proceso de polinización (Pérez, 2017).

Antes para que las higueras dieran frutos tenían que ser fecundadas por el polen de los árboles masculinos llamados cabrahígos el cual era transportado por *Blastophaga psenes* L. (avispa o mosquito del higo), fenómeno conocido como caprificación. La diminuta avispa entra por el ostiolo del higo y avanza hasta la cavidad central, distribuye el polen adherido y deposita sus huevos en cada pequeña flor. Los huevos fecundados crecen y se alimentan de las semillas, los machos completan su desarrollo perforan el interior del higo para salir, pero pierden sus alas y mueren. Las hembras salen de la flor y recolectan el polen para posteriormente polinizar y fecundar otro higo receptivo y el ciclo se vuelve a repetir. Con el paso del tiempo el manejo del cultivo ha mejorado apareciendo individuos hermafroditas y partenocárpicas, incrementado su auge, gracias a su rusticidad y adaptación a diversas condiciones climáticas (Pretaviera y Godoy, 1985).

En México el higo no es un frutal endémico; sin embargo, las condiciones agroclimáticas han favorecido su desarrollo, convirtiéndolo en una alternativa de cambio de cultivo (Gutiérrez *et al.*, 2014); cuenta con una producción de 12489.34 toneladas en 1925 hectáreas, con un promedio de 6.5 ton h^{-1} distribuidos en los principales estados productores, Morelos (35.6 %); Veracruz (21.7 %); Michoacán (12.8 %); Baja California Sur (11.2 %); Puebla (10.4 %); Hidalgo (3.1 %); Durango (1.4 %); Jalisco (1.3 %); Sonora (1.2 %), (FAOSTAT, 2023).

4.2 Taxonomía

La clasificación taxonómica permite el reconocimiento, la interpretación y estimación de la diversidad de los seres vivos, indispensable para su conservación (Iriando, 2000). Existen más de 750 especies de higueras en el mundo pertenecientes al género *Ficus*. Dentro de las cuales esta *Ficus carica*, la especie que se cultiva y consume en México (INECOL, 2023). En el Cuadro 1 se desglosa su taxonomía.

Cuadro 1. Taxonomía del higo

Categoría	Taxón
Reino	<i>Plantae</i> (plantas)
Subreino	<i>Tracheobionta</i> (plantas vasculares)
División	<i>Magnoliophyta</i> (magnoliofitas)
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Rosales
Familia	<i>Moraceae</i>
Subfamilia	<i>Ficeae</i>
Genero	<i>Ficus</i>
Subgénero	<i>Ficus</i>
Especie	<i>Ficus carica</i> L.

Fuente: Adiel (2010).

4.3 Fenología

Izarra y López (2014) señalan en el cultivo de higuera cinco fases fenológicas, la primera definida por el desarrollo de las yemas, la segunda fase con el inicio de las primeras hojas, la tercera fase con la presencia de las primeras infrutescencias (siconos), la cuarta fase con la maduración de las infrutescencias y la quinta fase con la caída de hojas.

4.4 Características del cultivo

Se considera un árbol caducifolio semejante a un arbusto, con muchas ramas, y una corteza lisa de color grisáceo, tronco grueso y madera blanda, con brotes frágiles capaz de alcanzar los 3-10 m de altura, y 9-10 m de ancho de copa. Sus ramas son grandes, colgantes y enraízan fácilmente (Gariglio *et al.*, 2013; Pérez, 2019).

4.4.1 Sistema radicular. Tiene raíces fibrosas que se extienden de 11-15 m, dependiendo del tipo de suelo, permitiendo a la planta sobrevivir en suelos poco fértiles (Uday, 2003).

4.4.2 Tronco / Ramas. El tallo es madera blanda, susceptible a la luz y rayos solares, con una corteza gris, lisa que su interior contiene grandes cantidades de células laticíferas que producen látex (Uday, 2013). Las ramas principales de la higuera son escasas, mientras que el número de ramas secundarias es variable y estas engrosan de manera visible cada año (Costa, 2022).

4.4.3 Copa / Hojas. Las hojas son de color verde intenso, presenta de tres a cinco lóbulos unidos en la base de una nerviación palmeada (de un mismo punto), el tamaño va de los 10-20 cm y tienen un peciolo largo y grueso de 2-5 cm; además, son ásperas debido a los tricomas que contienen (Uday, 2013). Las hojas de las plantas cultivadas en invernadero son capaces de alcanzar los 40 cm de largo y de ancho (Melgarejo, 1999).

4.4.4 Flores. Presenta flores muy pequeñas en el interior del sicono, aproximadamente de 200- 300 flores (Melgarejo, 1999); las flores femeninas de cinco pétalos, tienen un ovario unilocular con un estigma de color rosa o blanquecino. Los estigmas pueden ser largos o cortos dependiendo la variedad. En los laterales del receptáculo se encuentran las flores masculinas. Flores que no existen en todas las higueras y que están formadas por un pedicelo largo, un periantio pentámero y un gineceo abortado (Melgarejo, 2000).

4.4.5 Fruto o sicono. Los frutos (siconos) son blandos, carnosos, y cubiertos por una delgada cáscara que puede ser de color verde, morado, negro, o marrón, con grandes agrupaciones de aquenios en su interior (frutos verdaderos), como se observa en la Figura 1. El sicono es un receptáculo floral, que se hincha y se vuelve carnoso tras la fecundación de las flores, formando el higo (Nieto *et al.*, 2007; Catraro, 2014).

El árbol de higuera como el fruto contienen células secretoras de látex, que protege a la planta de insectos, microorganismos y hongos patógenos. Dicho lo anterior es importante que durante su cosechase use guantes, para evitar irritaciones en la piel (Catraro, 2014).

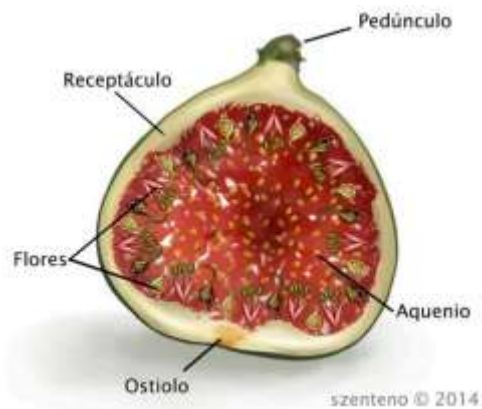


Figura 1. Morfología del higo.

Fuente: Bizberg (2014).

4.4.6 Fructificación. La higuera a diferencia de otros frutales florece de forma continua. Su fructificación ocurre dos veces al año, en primavera inician las brevas y en otoño los higos, fructifican sin necesidad de ser fecundados (partenocarpia) o polinizados. Regularmente la producción de la higuera empieza a los 3-5 años; alcanzando su máximo a los 12-15 años con producciones de hasta 70 kg por árbol (Lavín y Reyes, 2004). El volumen de cosecha por árbol es de 55 kg, y 6.3 ton h⁻¹. Árboles con copas de gran diámetro pueden alcanzar 60-80 kg de higos (Pérez, 2019).

4.4.7 Sexualidad. Las higueras pueden ser monoicas o dioicas (Figura 2). Las monoicas presentan flores masculinas y femeninas, es decir, no hay una separación de sexo; caso contrario a las higueras dioicas como *Ficus carica* L donde los árboles masculinos tienen higos donde están las flores masculinas (proveen el polen) y las flores femeninas brevistilas. La flor es unisexuada (Bizberg, 2014).

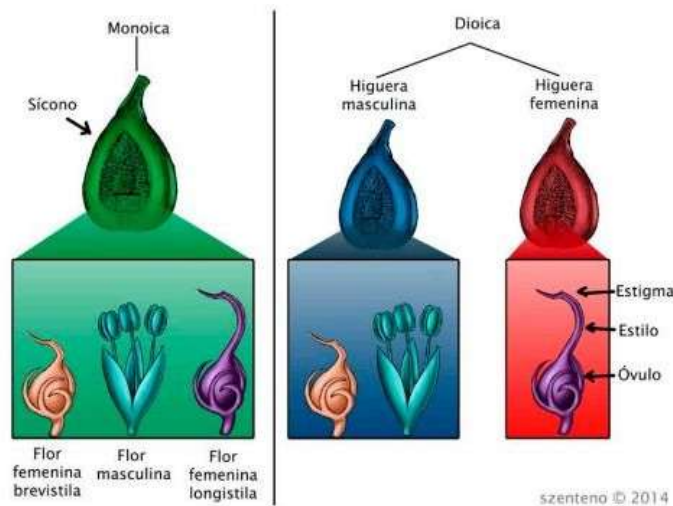


Figura 2. Higueras monoicas y dioicas.

Fuente: Bizberg (2014).

4.4.8 Propagación. La propagación de las higueras depende del objetivo que se desea alcanzar, existe la reproducción sexual por semillas, donde se tiene una gran cantidad de variabilidad genética, resultado que no es favorable para el productor, por lo que se opta por la propagación asexual por estacas, esquejes, injerto, acodos, entre otros (Krezdorn y Adriance, 1984).

4.4.8.1 Reproducción sexual. El sicono cuenta con un gran número de semillas de diminuto tamaño que pueden ser fértiles o no. Los árboles propagados por semilla tardan mucho en crecer, son de baja calidad y empiezan a producir después de 10 años aproximadamente. Este tipo de propagación se utiliza para la obtención de nuevas variedades (Melgarejo, 1999).

4.4.8.2 Estacas. Para la producción con estacas, se seleccionan plantas adultas con yemas bien formadas, se obtienen estacas leñosas de 30 cm de longitud y de un diámetro similar al de un lápiz, con suficientes yemas presentes; se cubren con tierra o materiales vegetales que permitan el desarrollo de la raíz y la protección del frío, hasta que aparezcan los primeros primordios radiculares desde el callo. El porcentaje de prendimiento depende de las propiedades de los enraizadores y los tiempos de sumersión (Tinco, 2024).

4.4.8.3 Acodo aéreo. La propagación por acodo aéreo en higuera consiste en cortar un anillo de 2 cm de ancho de la corteza de la rama, mismo corte se cubre con sustrato a utilizar y se envuelve con una banda de polietileno. La planta obtenida por este método, tendrá características idénticas a la de la planta donadora (Harrison, 1990).

4.4.8.4 Injerto. El injerto se utiliza muy poco en higos, se realiza cuando las yemas están en periodo de dormancia, primavera o finales de verano, respectivamente. Para realizar el injerto la planta debe dejar de exudar látex para evitar que gran porcentaje de las plantas muera. El injerto de placa a ojo velado es el más utilizado en el Sureste (Melgarejo, 1999), el cual consiste en un corte rectangular de 2 a 3 cm en la parte del patrón que será reemplazado por la parte similar del injerto que contenga al menos una yema (Valentini y Arroyo, 2003).

4.5 Manejo del cultivo de higo

4.5.1 Selección de la planta. Para las plantas de higo de raíz desnuda es recomendable el trasplante durante el periodo de dormancia. Mientras que las plantas producidas en contenedores, se pueden trasplantar en cualquier época del año con el riego adecuado. El espaciado recomendado es de 10–16 pies (3 m– 5 m) entre plantas y 1–20 pies (4 m – 6 m) entre filas, medidas que se recomienda mantener a campo abierto (Sarkhosh y Andersen, 2020).

4.5.2 Tipo de suelo. La higuera es resistente a la clorosis férrica y la caliza activa, se adapta a todo tipo de suelos: salinos, semidesérticos, calizos, pobres y pedregosos; gracias a su gran sistema radicular que soporta largos periodos de sequía (InfoAgro, 2021). Los suelos ideales son los francos arenosos a franco arcillosos, con un pH óptimo de 6 a 8 (Prataviera, 1990), no tolera los encharcamientos (Kamas *et al.*, 2015) ya que es sensible a podredumbres radiculares.

El aporte de materia orgánica a través de abonos verdes mejora la disponibilidad de nutrientes y la infiltración, reduce la pérdida de agua, controla malezas, regula la temperatura del suelo y favorece el desarrollo radicular (Reisser *et al.*, 2008).

4.5.3 Fertilización. Las plantaciones necesitan un abonado equilibrado con nitrógeno (N) y potasio (K), durante la primavera y fósforo (P) durante el invierno. Los fertilizantes a aplicar y sus cantidades depende del lugar donde este cultivada la planta. Así mismo, es recomendable que la cosecha sea manual debido a sus ramas frágiles y frutos blandos que fácilmente se rasgan (Pérez, 2019; Lavín y Reyes, 2004; Melgarejo, 2000).

Los fertilizantes químicos, inorgánicos o sintéticos se han refinado para extraer nutrientes y unirlos con otros compuestos químicos, que contribuyen al rendimiento de los cultivos, pero la aplicación excesiva produce impactos negativos tanto en el suelo, agua y aire; como: variación del pH, deterioro de la microfauna y estructura del suelo, eutrofización, toxicidad del agua, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (González, 2019).

4.5.4 Abonos orgánicos. La materia orgánica es producto de los desechos animales o vegetales que se encuentra en el suelo, que al degradarse se convierte en humus, producto que mejora la estructura y fertilidad del suelo (Garro, 2016). Ejemplo de ello es el excremento de animales como vacas, pollos, cerdos, desperdicio de vegetales, paja y otros materiales vegetales.

Aun cuando el contenido de nutrientes varía de acuerdo al material utilizado, mejora las condiciones del suelo en general: estructura, erosión, regula la temperatura y almacena agua. Además de ser un alimento de los organismos del suelo. No obstante, por sí solo no es suficiente para lograr los resultados de producción que el agricultor necesita por lo que se recurre a la utilización de fertilizantes minerales (IFA, 1992).

Las excretas de animales han sido utilizadas desde tiempos remotos para mejorar el rendimiento de las cosechas. Cuando se incorporan al suelo, la materia orgánica que contiene es descompuesta por los microorganismos y transformada en dióxido de carbono, y humus componente que contribuye a la retención de agua disponible y reduce el lavado de nutrientes, aportando una fuente de elementos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio. Sin embargo, la respuesta de los cultivos al estiércol es variable, por factores como el tipo de ganado, la alimentación, condiciones ambientales y almacenamiento (Iglesias, 1995). Se recomienda para que ejerzan un efecto duradero es necesario aplicarlo en grandes cantidades, y de manera uniforme. Las dosis tradicionales que se emplean oscilan entre 25-40 ton h^{-1} (Simpson, 1986).

4.5.5 Requerimientos hídricos. A pesar de una buena resistencia a la sequía se considera un rango óptimo de 600 - 700 mm anuales, repartidos a lo largo del año de acuerdo a las condiciones climáticas, aportando una mayor cantidad en periodos cálidos. Cuando las precipitaciones reducen incluso hasta los 80 mm año⁻¹ con climas semiáridos, la planta sigue vegetando, los frutos son incluso más dulces y las hojas son más pequeñas. Pero si la sequía es muy extrema la cosecha será nula (Melgarejo, 1999).

4.5.6 Requerimientos climáticos. El higo se cultiva en climas cálidos y templados entre 35 a 40 °C (Nieto *et al.*, 2007); sin embargo, es una especie de gran plasticidad que se adapta a distintos ambientes. Los frutos tienen una mejor maduración y calidad a temperaturas de 32 - 37 °C, principalmente en los meses de enero y febrero. Temperaturas superiores a los 37.7 °C afectan al fruto y la consistencia de los mismos (Ryugo, 1988; Flores, 1990; Marchese de Medeiro, 2002).

Ante la presencia de heladas, las plantas jóvenes con madera aun no lignificada son sensibles a temperaturas de - 1 °C, una vez que son adultas su resistencia aumenta hasta - 12 °C (Ryugo, 1988). La higuera requiere de 100 a 300 horas de frío; enseguida requiere de un periodo de calor para reactivar los procesos fisiológicos con una temperatura óptima de 16 °C. Climas secos con valores de humedad relativa menores al 25 % permiten destacar

las características organolépticas del fruto (Prataviera, 1990; Melgarejo, 2000).

4.5.7 Densidad de plantación. De manera tradicional los marcos de plantación son amplios con árboles grandes que dificultan el manejo del cultivo. Actualmente se opta por altas densidades o marcos de plantación reducidos (InfoAgro, 2021).

- ✓ **Sistema extensivo:** densidades menores a 1,250 plantas por hectárea, con marcos de plantación en torno a 5m x 3m, 5m x 2m, 4m x 3m, 4m x 2m.
- ✓ **Sistema semi-intensivo:** densidades menores a 4,000 plantas por hectárea, con marcos de 3m x 2m, 3m x 1m, 2.5m x 1m, dependiente al grado de tecnificación y manejo de la plantación.
- ✓ **Sistema intensivo:** grandes densidades, en invernadero de hasta 10,000 plantas por hectárea, con un marco de plantación de 1.6m x 0.6m, en el que se alcanzan mayores rendimientos.

4.5.8 Poda. La poda es un factor de importancia sobre la productividad y formación de los árboles. Los beneficios que se obtienen al inducir la poda son: regulación de la fructificación y equilibrio entre las ramas vegetativas- productivas y entre el sistema radicular, favorecer la iluminación adecuada de las partes interiores del árbol, facilitar la recolección, mejorar la calidad de los frutos, etc. (Melgarejo, 2000).

4.5.8.1 Poda de formación. La poda de formación pretende obtener árboles adultos de menos de 3 m, para poder facilitar la recolección de sus frutos y reducir costes. Los árboles suelen despuntarse a una altura de 0.9 – 1.2 m, o incluso a los 40 - 60 cm del suelo para obtener árboles más bajos. Regularmente se dejan tres ramas principales, con aproximadamente 1 – 1.5 m de longitud (Flores, 1990).

Los despuntes se deben realizar continuamente, sin realizar podas severas que provocarían un desarrollo vegetativo vigoroso. Las ramas vigorosas se recomiendan cortar de la base antes de la llegada del otoño, ya que la emisión de savia podría provocarla muerte

del árbol (Flores, 1990).

4.5.8.2 Poda de producción o fructificación. Este tipo de poda tiene el objetivo de renovar la estructura de ramas que no son capaces de volver a fructificar en la misma base, y contribuir al raleo de frutos, eliminando elementos demasiado delgados, débiles o con un crecimiento vegetativo excesivo. Esta poda suele omitirse o disminuye su intensidad cuando la producción está destinada a la industria y no importa tanto el calibre de los frutos, caso contrario a las variedades destinadas al consumo en fresco (Casierra y Fischer, 2012).

La producción de brevas en las higueras jóvenes puede conseguirse aumentando el número de ramificaciones en las ramas de vigor medio (20 - 30 cm), es decir se eliminan las yemas terminales y subterminales de las ramas vigorosas, así la producción de brevas depende del número de receptáculos que alcancen el estado de grano de pimienta antes del periodo de latencia, los cuales presentan un bajo índice de abortos (Flores, 1990).

4.5.8.2.1 Tipos de poda de producción o fructificación

De acuerdo al tipo de corte en las ramas, la poda de fructificación puede clasificarse de la siguiente manera:

a. Poda de raleo o aclareo. La principal función de este tipo de poda es un buen desarrollo de yemas florales, al permitir la iluminación interior y la inducción del vigor medio de la planta; eliminando ramas o brindillas desde la base y repartir el crecimiento en el resto del árbol. Cuando la técnica se aplica en verde (primavera- verano), se llama desbrote (Ojer *et al.*, 2011).

b. Poda de despunte o rebaje. Este tipo de poda elimina solo una parte de la rama, cuando se realiza en ramas verdes se llama pinzamiento o pellizque. El corte que se realiza en las brindillas, emite brotes vigorosos por debajo de este; cuando el corte se realiza en ramas cargadoras, en madera de dos años o más, los nuevos brotes son menos vigorosos y permite fijar el largo de las ramas por ello el nombre de corte de retroceso (Ojer *et al.*, 2011).

4.5.8.3 Poda de rejuvenecimiento. Cuando la planta comienza a disminuir su producción, la poda de rejuvenecimiento ayuda a reactivar la vegetación y producción. Momento en que se realizan podas fuertes e incluso a la decapitación del árbol cortando su tronco al ras del suelo, lo que favorecerá la inmediata aparición de brotes que nacerán de su sistema radicular existente (Melgarejo, 1999).

4.6 Producción

La mayor producción de higo es a campo abierto con sistemas intensivos, tales como el uso de macro-túneles, malla sombra, sistemas de fertirrigación, alta densidad de siembra, podas, control de plagas y enfermedades, etc. Sumado a un sistema intensivo en invernadero, de más de 12,000 plantas por hectárea, sistema de riego localizado, en macetas con sustrato de tezontle y uso de soluciones nutritivas, así como un sistema de conducción mediante rafia que implica una poda intensiva y continua de la planta. Obteniendo un rendimiento mayor a las 100 toneladas por hectárea (InfoAgro,2021).

La producción de los árboles empieza a los 3 o 4 años de la plantación, dando entre 4 a 8 kg de brevas y de 8 a 12 kg de higos verdes por árbol. Las higueras entran en plena producción a los diez y quince años, dando entre 40- 100 kg de brevas y 60- 150 kg de higos verdes, periodo que se mantiene hasta cincuenta o sesenta años de edad de la planta. Las higueras que no dan brevas producen mayor cantidad de higos, considerándose producciones normales entre 150 y 200 kg por árbol grande (Pérez, 2019).

4.7 Variedades

Existe una gran cantidad de variedades de higo, en México las más comunes son:

4.7.1 Black Mission. Misión negra o Franciscana produce dos cosechas en otoño. Su pulpa es color rosa rojiza, cubierta por una cáscara negra que a menudo se agrieta cuando está madura. Produce frutos continuamente en la época de verano a invierno y es sensible a las heladas (Fawzy, 2023).

4.7.2 Kadota. Produce una fruta ámbar de tamaño mediano a grande con un ostiolo abierto cubierto por una sustancia similar a la miel. La calidad de la fruta es afectada cuando el clima es extremadamente húmedo. sus frutos pueden comerse frescos, aunque son ideales para enlatados y conservas. Disponible en el mes de julio (Sarkhosh y Andersen, 2020).

4.7.3 Tiger. Característico por el color amarillo claro con rayas verdes oscuras únicas y un color interno rojo- púrpura brillante, con un sabor a mezcla de frutas y cítricos. Disponible desde mediados de julio hasta noviembre (Acuna, 2020).

4.7.4 Cuello de dama negro. Variedad bífera, higuera de porte medio alto. Las brevas se recolectan a principios de julio, mientras que los higos en el periodo de agosto septiembre. El producto es característico por su piel resistente de color morado intenso, que al madurarse se forman muchas grietas lo que lo hace atractivo (Melgarejo, 1999).

4.7.5 Brown-Turkey. Es un cultivo de climas cálidos, que se reproduce fácilmente, con infrutescencias periformes, generalmente sin cuello, de color cobre, la pulpa es blanquecina, o de color rosa claro, de excelente calidad y pocas semillas. La cosecha principal es grande a partir de mediados de julio y se cosecha poca breva (Pérez, 2019).

4.7.6 Netzahualcóyotl. Derivada pero diferente a la variedad española Black Mission, cultivada en el Estado de México; los frutos de esta variedad son periformes, grandes, con pulpa roja y exocarpo morado claro, el contenido nutrimental es mayor. Responde favorablemente al manejo intensivo, lo que permite hacer plantaciones intensivas en condiciones de invernadero (Mendoza, 2018). Lo que da como resultado mayor sanidad y producciones inocuas con una mínima aplicación de productos químicos para el control de plagas y enfermedades (Mendoza, 2013).

4.8 Desarrollo del sicono

Los higos se desarrollan en las yemas axilares. Normalmente una o dos yemas axilares se transforman en siconos. En otoño cuando las hojas caen, los siconos permanecen en el árbol con un crecimiento lento y un periodo de latencia corto; en primavera el crecimiento aumenta y su estado de madurez suele alcanzarse en el mes de junio, constituyendo la primera cosecha de lo que se denominan brevas. Mientras que los higos se recolectan en el mes de julio- agosto (Melgarejo, 1999).

Las brevas e higos son idénticas anatómicamente, aunque su forma varía, debido al clima en el que se han desarrollado unas y otros. El tamaño de los higos depende de la cantidad de cosecha de brevas; cuando ésta es pequeña los higos pueden tener un tamaño mayor que cuando la cosecha de brevas es grande. Por lo general, las brevas son más grandes que los higos, debido a la época en que se desarrollan. Sin embargo, la cosecha de higos es más abundante que la de brevas. En ocasiones, y con un marcado carácter varietal, puede producirse el desarrollo y maduración de dos siconos en el mismo nudo (Melgarejo, 1999).

4.9 Cosecha del sicono

La primera cosecha es definida por su manejo y su nivel tecnológico aplicado. En plantaciones de baja densidad, la primera cosecha puede obtenerse después de un año,

mientras que en sistemas que utilizan densidades medianas y altas, este periodo se reduce hasta los 9 meses, lo que hace posible 1.5 cosechas al año. Lo que confirma la efectividad de los sistemas intensos (InfoAgro, 2021).

El color y la firmeza de la cáscara del higo son indicativos de su madurez y de su cosecha, ya que están muy relacionados con la calidad del higo. Para su consumo en fresco, la cosecha debe ser un poco antes de alcanzar la madurez completa. Los higos sobremaduros pueden resultar indeseables debido a la producción de sub-productos de la fermentación (Crisosto *et al.*, 2013).

Entre los índices de calidad se incluye frutos enteros, con pedúnculo y sin rajaduras, libres de picaduras, quemaduras por sol, heridas en la piel, exentos de costras, materiales extraños, plagas y enfermedades (Sánchez *et al.*, 2016).

4.10 Índices de madurez. El higo es un fruto climatérico, es decir después de ser cosechado puede continuar su maduración siempre y cuando se haya alcanzado la madurez fisiológica que asegure la producción de etileno. El color de la cáscara y la firmeza de la pulpa, son parámetros indicativos de madurez y cosecha, y se relacionan con la calidad del producto y vida de almacenamiento (Catraro, 2014).

Entre los parámetros de calidad está el daño mecánico, quemaduras de sol, tallos deshidratados, daño por aves, insectos, y pudriciones.

Actualmente la producción se comercializa en fresco, donde se cosechan al llegar a la madurez completa para su transformación a productos como dulces o deshidratados con los que se elabora el pan de higo (Gariglio *et al.*, 2013). Para ello es ideal una fruta con madurez intermedia (consistencia firme) para facilitar su procesamiento y lograr una mayor estabilidad del producto terminado (Flores y Jiménez, 2007).

Para manejos industriales, se considera en cosecha un menor grado de madurez en la fruta que disminuye el porcentaje de pérdida de fruta sobre madura (Flores y Jiménez, 2007).

4.11 Composición nutrimental del higo

4.11.1 Nutrientes. Como se muestra en el cuadro 2, los higos tienen alto valor nutritivo, su componente mayoritario es agua seguido de hidratos de carbono, entre los que abundan azúcares como glucosa y fructosa; aunque su contenido de proteína no es alto tiene todos los aminoácidos esenciales y destaca por su contenido de minerales como el potasio y fibra (Mendoza, 2009).

El higo también es una excelente fuente de vitaminas como la tiamina (B1) y riboflavina (B2) (Solomon *et al.*, 2006). Otros compuestos que se han detectado tanto en frutos y ramas de higo son los fitoesteroles y ácidos grasos (Çaliskan y Polat, 2011).

Cuadro 2. Composición nutrimental de higo

Nutrientes	Fruto fresco	Fruto deshidratado
En 100 g		
Agua	79.11 %	30.05 %
Energía	74 Kcal	249 Kcal
Carbohidratos	19.18 g	63.87 g
Calcio	35.0 mg	162.0 mg
Potasio	232.0 mg	680.0 mg
Magnesio	17.0 mg	68.0 mg
Sodio	1.0 mg	10.0 mg
Fierro	0.07 mg	67.0 mg
Fosforo	14.0 mg	167.0 mg
Zinc	0.15 mg	0.55 mg

Fuente: INCAP (2012).

4.11.2 Compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos, son metabolitos secundarios sintetizados en los tejidos vegetales, y aunque no son considerados nutrientes, son componentes importantes del color, sabor y aroma de los frutos frescos y sus productos. Además, juegan un rol importante como antioxidantes y poseen actividades anticancerígenas, antiinflamatorias y antimicrobianas (Eberhardt *et al.*, 2000).

Los ácidos fenólicos, aparte de grupos hidroxilos (O–H) poseen en su estructura un grupo carboxilo (OH–C=O), que les otorga propiedades diferentes, entre los más comunes en higo se incluye el ácido gálico, ácido ferúlico, ácido siringico, ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido cinámico (Fawzy, 2023). Los principales grupos de compuestos fenólicos incluyen flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, estilbenos y lignanos (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2016).

Los flavonoides pertenecen a un grupo de compuestos fenólicos y se dividen en 7 subcategorías: sales de flavilium, flavonoles, flavan-3ols, flavonas, isoflavonas, flavanonas y flavononoles (Panche *et al.*, 2016). De estas subcategorías, las más importantes en higo son las siguientes:

- ✓ Sales de flavilium, conocidas también como antocianinas, se distinguen por poseer una carga parcialmente positiva en el heteroátomo de oxígeno del anillo C y por impartir los colores rojos, azules y púrpuras en frutos, jugos de frutos, vinos, flores y vegetales (Seeram y Nair, 2002). Incluyen entre las predominantes a cianidina-3-rutinosido, cianidina-3-ramnoglucosido, cianidina-3,5-diglucosido, y entre las más raras y de gran interés porque han sido poco estudiadas, epicatequina-4,8-cianidina-3- rutinosido (Aljane *et al.*, 2020; Veberic y Mikulic-Petkovsek, 2016).
- ✓ Flavonoles, Se caracterizan por poseer un grupo C=O y un doble enlace C2=C3, en el anillo C. Los más abundantes en higo son quercetina, rutina y kaempferol (Ladhari *et al.*, 2020).

- ✓ Flavan-3ols, se caracterizan por tener dos carbonos quirales en el anillo C (C2 y C3), que les permiten formar diferentes isómeros. Los más abundantes en higo son (+)-Catequina y (-)-Epicatequina considerados isómeros geométricos, ya que difieren únicamente en la posición del anillo B y el grupo 3-OH. En (+)-Catequina, estos se orientan hacia lados opuestos, adoptando la configuración 2,3-trans, mientras que en (-)-epicatequina se orientan hacia el mismo lado, adoptando la configuración 2,3-cis (Meagher *et al.*, 2005; Hümmer y Schreier, 2008).

Las proantocianidinas, también se conocen con el nombre de taninos y se subdividen en taninos hidrolizables y taninos condensados, estos últimos incluyen a las procianidinas, propelargonidinas, profisetinidinas y prodelfinidinas, entre las más conocidas (Mateos-Martín, 2013). Las procianidinas están constituidas por monómeros de (+)-catequina y (-)-epicatequina, los cuales se unen formando oligómeros o polímeros. Al monómero que se localiza en la parte final se le conoce como unidad terminal y al resto como unidades de extensión. Existen dos tipos de procianidinas: Tipo B que se caracteriza por uniones simples entre sus carbonos C4- C8 o C4- C6 y tipo A que se distinguen por estar doblemente ligadas por una unión C4- C8 o C4- C6 y un enlace éter que puede ser C2- O- C5 o C2- O- C7 (Freudenberg y Weinges, 1961).

En los frutos de higo de distintos genotipos, abundan los dímeros y trímeros de procianidinas (USDA, 2015). La estructura general de los compuestos fenólicos incluye uno o más anillos aromáticos y por lo menos un grupo hidroxilo (Rudrapal *et al.*, 2022). En la figura 3, se presentan las estructuras de los compuestos fenólicos más abundantes en las diferentes variedades de higo, indicando la subcategoría a la que pertenecen. Adicionalmente, en esta misma figura se incluyen las estructuras de glucosa y fructosa, por su abundancia en higo y las interacciones que estos azúcares podrían establecer con los compuestos, modificando las propiedades organolépticas e incluso la actividad antioxidante de los frutos del higo (Rudrapal *et al.*, 2022).

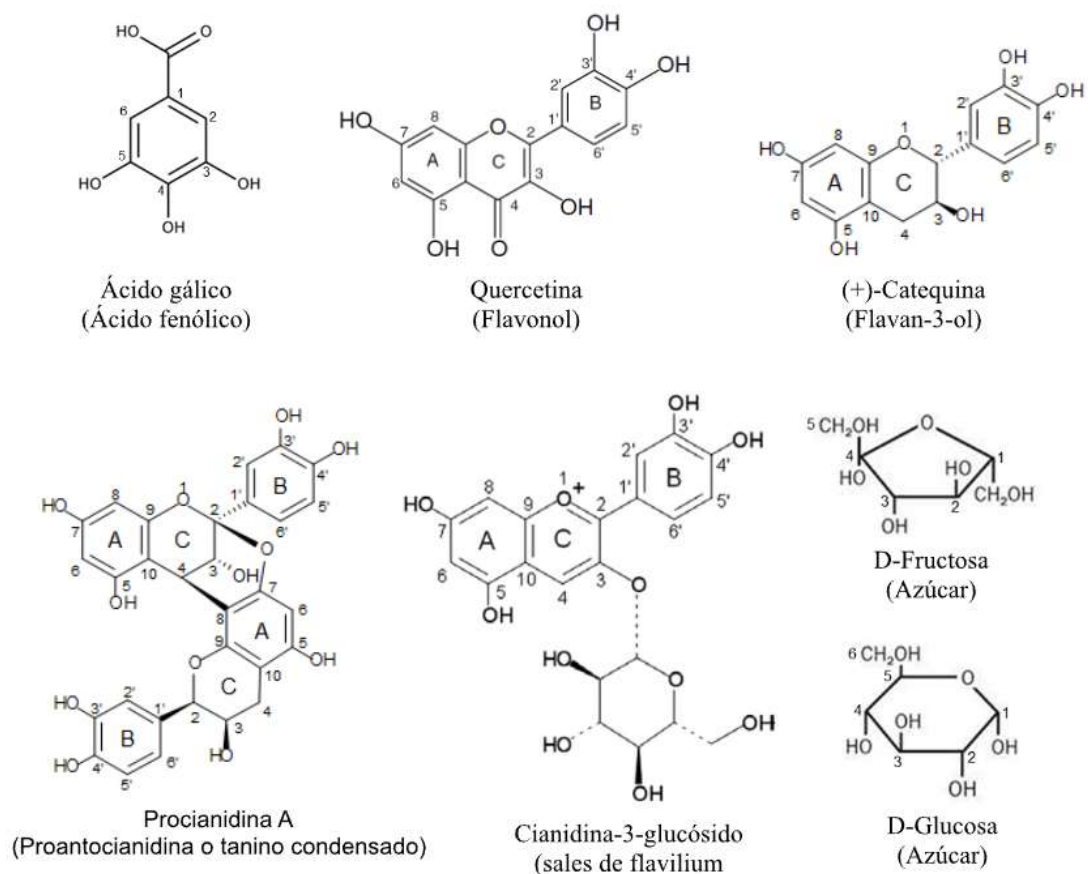


Figura 3. Estructura de los compuestos fenólicos y azúcares más abundantes en frutos de higo.

Fuente: Elaborado con: Software ChemDraw (Revvity Signals Software, Inc. Waltham MA).

4.12 Actividad antioxidante

Los compuestos antioxidantes, como los fenoles, inhiben mediante diferentes mecanismos, las sustancias oxidantes (radicales libres, enzimas oxidativas, metales) que pueden conducir a deteriorar la calidad de los alimentos o al desarrollo de enfermedades crónicas en los consumidores (Silva *et al.*, 2004; Meo *et al.*, 2013). Los radicales libres son especies químicas que poseen uno o más electrones desapareados, por lo que son muy

reactivos y resultan nocivos en los alimentos y organismos vivos (Halliwell, 1997). Debido a su inestabilidad generan reacciones en cadena atacando otras moléculas como los lípidos, proteínas y DNA para compensar su deficiencia electrónica (González-Torres *et al.*, 2000). Para inhibir la acción nociva de los radicales libres, las moléculas antioxidantes les ceden sus electrones para estabilizarlos, evitando así su propagación (Leopoldini *et al.*, 2004).

La química computacional combina principios físicos y matemáticos, adaptados al lenguaje y rapidez de una computadora, permitiendo simular eficientemente sistemas químicos, a los cuales les calcula la energía y velocidades con la que reaccionan con las sustancias oxidantes. Esta constituye una herramienta complementaria a las experimentales, que proporciona datos confiables, evitando la generación de residuos tóxicos (Young, 2001).

4.13 Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier y Reflectancia total atenuada (FTIR-ATR)

La espectroscopia FTIR-ATR representa una metodología rápida y económica que opera utilizando radiación infrarroja policromática guiada mediante un interferómetro, la cual se hace pasar a través de las muestras que han sido colocadas en contacto con un cristal de alto índice de refracción, como el diamante. La luz infrarroja interactúa entre el cristal y la muestra ocasionando que una parte de la luz se absorba y la restante se refleje. A través de este procedimiento se recogen los datos espectrales de todas las longitudes de onda en una sola medición de las muestras. Cuando la luz infrarroja incidente es igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional en la molécula, ocasiona que los grupos de átomos vibren con respecto a los enlaces que los conectan y de esta manera se obtienen valiosos conocimientos que permiten identificar grupos funcionales, interacción entre los enlaces, e incluso permite diferenciar isómeros *cis* y *trans*, dando como resultado la huella dactilar o estructura molecular de cada compuesto y adicionalmente, la composición y las propiedades químicas de cada muestra (Lambert *et al.*, 1998; Siebert y Hildebrandt, 2008; Ramírez-Cabrera, 2022).

Las moléculas presentan dos tipos fundamentales de vibración: estiramiento o tensión y flexión o balanceo. Las vibraciones de estiramiento o tensión implican cambios en la distancia a lo largo del enlace entre dos átomos, ya que estos se expanden y se contraen, pudiendo ser simétricos o asimétricos. Las vibraciones de flexión o balanceo se originan por movimientos de oscilación que inducen cambios en el ángulo que forman dos enlaces y pueden estar dentro o fuera del plano molecular; entre estos se identifican el balanceo o vaivén, tijereteo, aleteo y torsión. En la figura 4 se representan los diferentes tipos de vibraciones moleculares fundamentales (Ramírez-Cabrera, 2022).

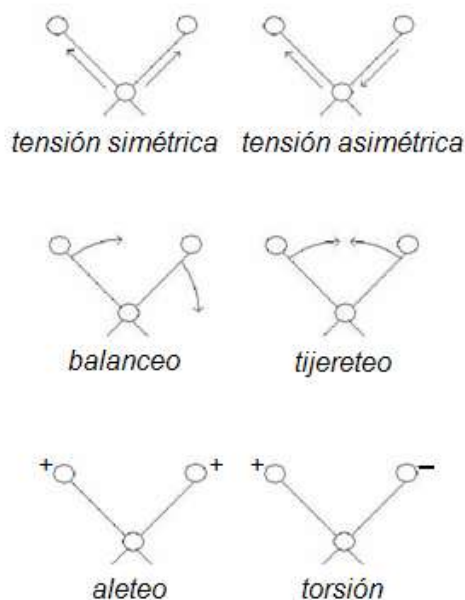


Figura 4. Vibraciones moleculares fundamentales.

Fuente: Triplenlace (2012).

La porción infrarroja del espectro electromagnético se divide en tres regiones; el infrarrojo cercano, medio y lejano, denominados de esta manera por su relación con el espectro visible. El infrarrojo medio, que abarca de $4000-400\text{ cm}^{-1}$, es usado para estudiar las vibraciones fundamentales de las moléculas y, por lo tanto, es el más empleado para

identificar los diferentes compuestos químicos (Lambert *et al.*, 1998). En el cuadro 3 se muestran como ejemplo las frecuencias vibracionales de algunos grupos funcionales.

Cuadro 3. Frecuencias vibracionales de algunos grupos funcionales en el infrarrojo medio (4000-400 cm^{-1}).

GRUPO		FRECUENCIA, CM^{-1}
OH	Alcohol	3580-3650
	Enlace-H	3210-3550
	Acido	2500-2700
NH	Amina	3300-3700
CH	Alcano	2850-2960
	Alqueno	3010-3095
	Alquino	3300
	Aromático	-3030
$\text{C} \equiv \text{C}$	Alquino	2140-2260
$\text{C}=\text{C}$	Alqueno	1620-1680
	Aromático	-1600
$\text{C}=\text{O}$	Aldehído	1720-1740
	Cetona	1675-1725
	Acido	1700-1725
	Ester	1720-1750
$\text{C} \equiv \text{N}$	Nitrilo	2000-2300
NO_2	Nitro	1500-1650

Fuente: Lamber *et al.* (1998)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en un invernadero de 1000 m² de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ubicado en San Juan Acateno, Teziutlán; Puebla, con las coordenadas paralelos 19° 46' y 19° 58' de latitud norte; los meridianos 97° 19' y 97° 25' de longitud oeste, con una altitud de 1,675 m.s.n.m.; con clima templado húmedo y lluvias todo el año, una temperatura media anual de 15 °C y precipitaciones medias anual de 2,800 mm (INEGI, 2021).

5.2 Material vegetal

Se utilizaron plantas de higo Brown Turkey y Netzahualcóyotl, de un año de edad aproximadamente, aclimatadas en el lugar, la primera variedad se obtuvo de la localidad de Hueyapan, Puebla, México y la segunda de La Trinidad, Texcoco, Edo. de México.

Las plantas se trasplantaron en camas de suelo previamente abonado con estiércol seco de ovino, a una distancia entre camas de 1.5 m y entre plantas de 1 m.

El riego fue de 6 L de agua por planta, dos veces por semana; se controló la presencia de malezas, plagas y enfermedades al momento de presentarse.

5.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial de 2³, con un total de 8 tratamientos, teniendo como factores: genotipo, altura de tallo y longitud de rama; con los niveles: Brown Turkey y Netzahualcóyotl, 25 y 50 cm, y 40 y 80 cm (Cuadro 4), con 10 repeticiones y una planta como unidad experimental; con un total de 80 plantas.

Cuadro 4. Diseño de tratamientos

Tratamiento	Genotipo	Altura de tallo (cm)	Longitud de rama (cm)
1	Brown Turkey	25	40
2	Brown Turkey	25	80
3	Brown Turkey	50	40
4	Brown Turkey	50	80
5	Nezahualcóyotl	25	40
6	Nezahualcóyotl	25	80
7	Nezahualcóyotl	50	40
8	Nezahualcóyotl	50	80

5.4 Variables evaluadas

5.4.1 Temperatura y humedad relativa. Se registró semanalmente la temperatura y humedad relativa con un dataloger Elitech, RC-51H.

5.4.2 Grados días de desarrollo. Para el cálculo de grados-día de desarrollo (GDD) se utilizó el método de integración numérica programado en hoja de cálculo de Excel y de acuerdo a la propuesta de Barrios *et al.* (2022). Se determinaron los GDD acumulados para cada etapa fenológica del cultivo, a partir de la poda de las plantas y hasta la maduración organoléptica del fruto.

Los datos de temperatura (°C) fueron registrados automáticamente cada dos horas con un dataloger Elitech, RC-51H; para el cálculo de GDD se consideró una temperatura base de 10 °C y una temperatura máxima de 32 °C.

Fórmula del método de integración numérica es la siguiente:

$$\text{GDD} = \text{GDD}_T - (\text{GDD}_{Tb} + \text{GDD}_{Tb})$$

Donde:

GDD = Grados día de desarrollo (°C día)

GDD_T = Grados-día totales ($^{\circ}\text{C}$ día)

GDD_{TB} = Grados-día sobre la temperatura umbral máxima (TB, $^{\circ}\text{C}$ día)

GDD_{Tb} = Grados-día por debajo de la temperatura umbral mínima (Tb, $^{\circ}\text{C}$ día)

5.4.3 Características fisicoquímicas del sustrato. Las determinaciones de potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E) y materia orgánica (M.O) se realizaron de acuerdo con los procedimientos descritos en la NOM-021-RECNAT-2000 antes y después de realizar la presente investigación.

5.4.3.1 Potencial de hidrógeno (pH). Se pesaron 20 g del sustrato y se agregaron 20 mL de agua desionizada, se agitó en intervalos de 15 minutos hasta completar una hora y se dejó reposar cinco minutos, se tomó la lectura con un potenciómetro CORNINH pH meter 445, mediante la inmersión del electrodo.

5.4.3.2 Conductividad eléctrica (C.E). Se determinó con la misma solución usada para medir el pH de igual forma con un potenciómetro CORNINH pH meter 445, mediante la inmersión del electrodo este arrojó la lectura en desiSiemens m^{-1} .

5.4.3.3 Materia orgánica (M.O). A 0.2 g de muestra de suelo se le agregó 10 mL de dicromato de potasio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (1N) mas 20 mL de ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado. Se dejó reposar 30 minutos, y posteriormente se le adicionaron 10 mL de agua desionizada. Se dejó reposar por 10 minutos más. Transcurrido el tiempo se le adicionaron 3 mL de ácido fosfórico H_3PO_4 (85 %), y 10 gotas de difenilamina como indicador y se tituló con sulfato ferroso (1N) hasta un vire verde esmeralda.

El porcentaje (%) de materia orgánica se obtuvo de la siguiente manera:

$$\%M.O. = \frac{6.7}{\text{Peso de la muestra}} + \left(1 - \frac{T}{S}\right)$$

Donde:

T = volumen solución ferrosa empleada en el suelo (mL).

S = volumen solución ferrosa empleada en el testigo (mL).

5.4.3.4 Determinación de nitrógeno y fósforo. Se determinó el porcentaje de nitrógeno (N) y fósforo (P) presente en las muestras de suelo, de acuerdo a la NOM 021 RECNAT 2000.

5.4.4 Crecimiento y desarrollo vegetativo

5.4.4.1 Número de nudos en tallo. Se contabilizó el número de nudos que presentó el tallo al momento de alcanzar la altura determinada.

5.4.4.2 Diámetro del tallo. Se midió el diámetro del tallo (cm), una vez por semana hasta la primera cosecha de frutos.

5.4.4.3 Número de ramas. Se contabilizó el número de ramas

5.4.4.4 Velocidad de crecimiento de rama. Se estandarizaron a cuatro ramas por planta. Una vez a la semana se midió la longitud de las ramas, de la base o unión al tallo hasta el ápice o hasta la longitud establecida, utilizando un flexómetro. Los resultados se expresaron en centímetros.

5.4.4.5 Diámetro basal y apical de la rama. Se midió una vez por semana hasta la primera cosecha de frutos; en la base o unión con el tallo y en el ápice de la longitud de la rama; utilizando un vernier digital, los resultados se expresaron en milímetros.

5.4.4.6 Número de nudos por rama. Se contabilizaron una vez por semana y hasta alcanzar la longitud de la rama establecida.

5.4.4.7 Número de hojas por rama. Se contabilizaron una vez por semana y hasta alcanzar la longitud de la rama establecida.

5.4.5 Calidad de la infrutescencia

5.4.5.1 Peso de la infrutescencia

Se registró el peso individual de la infrutescencia (g), por medio de una balanza electrónica digital (OHAU500505) con capacidad de 320 g.

5.4.5.2 Diámetro polar, ecuatorial y forma

Con la ayuda de un vernier digital se midió en milímetros el ancho (diámetro ecuatorial) y largo del fruto (diámetro polar).

5.4.5.3 Firmeza

Se utilizó un texturómetro marca TEXTURE ANALIZE, con un puntal plano de 5 mm de diámetro y una distancia de penetración de 5 mm; se midió la compresión en la parte ecuatorial del fruto en lados opuestos.

Para la determinación de sólidos solubles totales, pH y acidez titulable, se pesaron aproximadamente 50 g de fruto por tratamiento y se licuó con 30 mL de agua desionizada, se filtró y se midió el volumen final con una probeta graduada. A partir del jugo obtenido se midió lo siguiente:

5.4.5.4 Sólidos solubles totales (SST)

Se determinó con la ayuda de un refractómetro digital manual (ATAGO00600); de acuerdo a la metodología de la Association of Official Analytical Chemist (A.O.A.C, 1998), se colocaron de dos a tres gotas de jugo de higo sobre el refractómetro digital Atago Palette, modelo PR-101. Los resultados se expresaron como sólidos solubles totales (% SST).

5.4.5.5 pH

Se determinó por el método de la Association Of Official Analytical Chemist (A.O.A.C, 1998), se introdujo el electrodo para medir el pH al jugo y reporto el valor en unidades de pH.

5.4.5.6 Ácido cítrico

Se realizó por el método de la Association Of Official Analytical Chemist (A.O.A.C, 1998), mediante titulación con NaOH (Hidróxido de sodio) 0.1 N (Normal), hasta obtener un pH de 8.1 ± 0.3 . El resultado se expresó en porcentaje de ácido cítrico, de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ ácido} = \frac{(mL \text{ NaOH gasto})(N \text{ NaOH})(P_{mea} - \text{Ácido})(Volumen)}{(\text{Peso de muestra})(\text{Alícuota})} * 100$$

Donde:

mL NaOH gasto: gasto en mililitros de NaOH

N NaOH: normalidad a la que se encontraba la solución de NaOH

$P_{mea} - \text{Ácido}$: peso miliequivalentes del ácido cítrico

V: volumen total de la muestra

Peso de muestra: peso total de la muestra

Alícuota: milímetros de muestra usada para titular.

5.4.5.7 Contenido de vitamina C

Se determinó mediante el procedimiento descrito por la A.O.A.C (1990); se pesaron 5 g de higo al que se le agregaron 100 ml de agua desionizada y se agitaron a 130 rpm por 15 minutos. En seguida se filtró con papel filtro whatman y se tomó una alícuota de 40 mL seguido de 25 mL de ácido acético glacial al 20 %, se agitó la mezcla por 5 minutos más y se tituló con 2,6-diclorofenolindofenol, hasta un vire de color rosa tenue. Los resultados se reportaron como mg de ácido ascórbico g^{-1} de peso fresco, realizando la curva estándar.

5.4.6 Cuantificación de compuestos fenólicos totales, antocianinas y procianidinas

5.4.6.1 Extracción de compuestos fenólicos totales. Se pesó 1 g de tejido de higo liofilizado, al cual se le adicionaron 20 mL de agua grado miliQ y se metió al baño ultrasónico Cole- Parmer modelo 08895-43(Cole-Parmer Instrument Co., Illinois, EUA) durante media hora a temperatura ambiente. La mezcla se centrifugó (Centrifuga Allegra modelo X-30R, Beckman Coulter, EUA) durante 15 minutos a 4 °C y 8300 rpm. El sobrenadante obtenido se filtró con papel filtro Whatman no. 1. El filtrado se almacenó a -20°C hasta su posterior uso (Xu y Chang, 2007).

a. Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales

La cantidad de fenoles totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu, utilizando ácido gálico como estándar. De cada extracto obtenido se tomaron 50µl de muestra, seguido de 3 mL de agua mili-Q y 250 µl de solución Folin-Ciocalteu 1N, dejándose en reposo por 5 minutos, transcurrido el tiempo se agregó 750µl de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20 % más 950 µl de agua milli-Q para completar el volumen. Se mantuvo en reposo durante 40 min a temperatura ambiente y en oscuridad, las absorbancias de las muestras se midieron a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis Cary 60. Los fenoles totales fueron expresados como equivalentes en miligramos de ácido gálico (GAE) por g de peso seco (Xu y Chang, 2007).

b. Determinación de flavonoides

Para la determinación de flavonoides se utilizó catequina como flavonoide estándar. De cada extracto obtenido se tomaron 250 µL y 1250 µL de agua miliQ, posteriormente se adicionó 75 µL de una solución al 5 % de nitrito de sodio (NaNO_2) y se homogeneizó perfectamente con ayuda de un vortex, transcurridos 6 minutos de reposo se adicionaron 150 µL de una solución al 10 % de cloruro de aluminio (AlCl_3), y dejó reposar de nuevo por 5 minutos. Por último, se agregaron 500 µl de hidróxido de sodio (NaOH) 1 M y 275 µL de

agua miliQ para ajustar el volumen final de la mezcla a 2.5 mL, mezclando muy bien con vórtex. Inmediatamente se leyó la absorbancia de la reacción a 510 nm, empleando un espectrofotómetro UV-Vis Cary 60 (Xu y Chang, 2007).

c. Determinación de flavonoles

Se utilizó la técnica de Meziant *et al.* (2021), con algunas modificaciones. A 500 μL de extracto de higo se agregaron 500 μL de solución al 2 % de tricloruro de aluminio (AlCl_3) y 1.5 mL de una solución de acetato de sodio al 5 % y se dejó reposar durante 150 min a temperatura ambiente y oscuridad. Después de transcurrido el tiempo se leyó la muestra en un espectrofotómetro Cary 60 a 440 nm. Para cuantificar los flavonoles se preparó una curva de calibración de rutina expresada como μg equivalentes de rutina por mL ($\mu\text{g RE mL}^{-1}$).

5.4.6.2 Extracción de antocianinas. A 1 g de muestra seca, se le adicionaron 25 mL de metanol al 80% y se agitaron por 120 min a 130 rpm a temperatura ambiente. Posteriormente la muestra se dejó reposar 30 min y se filtró con papel filtro Whatman número 1 (Velioglu *et al.*, 1998).

a. Determinación del contenido total de antocianinas

Se determinó mediante el método de diferencial de pH descrito por Giusti y Wrolstad (2001).

Se utilizaron dos soluciones buffer, cloruro de potasio a pH= 1 y acetato de sodio a pH= 4.5, en el orden siguiente:

1. A 1 mL de extracto, se le adicionaron solución buffer de cloruro de potasio a pH=1 hasta ajustar 10 mL, se agito la mezcla por 10 segundos para su posterior reposo de 15 min en oscuridad. Enseguida se leyó la absorbancia a 510 y 700 nm con el espectrofotómetro Cary 60

2. Un 1 mL de la muestra se ajustó a 10 mL. con solución buffer de acetato de sodio a pH= 4.5 y se dejó reposar por 15 min. Enseguida se leyó la absorbancia a 510 y 700 nm con el espectrofotómetro Cary 60.

El contenido de antocianinas se calculó con la siguiente formula:

$$\text{contenido de antocianinas} = \frac{(A * PM * FD)}{(\varepsilon * 1)}$$

$$A = (A\lambda_{\text{vis-max}} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A\lambda_{\text{vis-max}} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$$

PM = peso molecular del compuesto de referencia (cianidina 3-glucosido = 449.2g/mol)

FD = factor de dilución

ε = absortividad molar del compuesto de referencia (cianidina 3-glucosido = 26900)

b. Determinación de procianidinas

Para la determinación de procianidinas se utilizó el método vainillina descrito por Broadhurst *et al.* (1978) y Harzallah *et al.* (2016). A 0.5 mL del extracto acuso de higo se agregaron 3 mL de metanol con 4% de vainillina, seguido de 1.5 mL de ácido clorhídrico concentrado. La mezcla se dejó reposar 15 min a 20 °C en la oscuridad. Las absorbancias se leyeron a 500 nm contra un blanco. Se utilizaron soluciones de (+)-catequina para la curva estándar.

5.4.7 Determinación de la actividad antioxidante

a. Inhibición del radical DPPH•

A 200 μL de extracto de higo se adicionaron 1 mL de la solución de DPPH 60 μM en metanol, se homogeneizó y se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente en oscuridad. La absorbancia se leyó a 517 nm (Bachir y Louaileche, 2015).

El porcentaje de inhibición de DPPH se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{(A1 - A2)}{A1} * 100$$

Donde

A1 = absorbancia del control

A2 = absorbancia de la muestra

b. Inhibición del radical anión superóxido

Para este análisis a 500 μL de solución de nitroazul de tetrazolio (NBT), se agregaron 500 μL de solución de NADH 468 μM , seguido de 100 μL del extracto acuoso de higo y 400 μL de buffer de fosfato 0.1 M pH 7.4. Se homogeneizó la mezcla y se agregaron 500 μL de solución de metosulfato de fenazina (PMS) 60 μM , la reacción se incubó por 5 minutos a 25 $^{\circ}\text{C}$ en oscuridad. Con ayuda de un espectrofotómetro Cary 60 se leyeron las absorbancias a 560 nm (Sannigraha *et al.*, 2010; Igbinosa *et al.*, 2011).

El porcentaje de inhibición del radical anión superóxido se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{(A1 - A2)}{A1} * 100$$

Donde A1 = absorbancia del control

A2 = absorbancia de la muestra

c. Quelación de cobre

En tubos de vidrio protegidos de la luz se hizo una mezcla de 250 μL de extracto de higo, 250 μL de buffer hexamina, 500 μL de solución $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.25mM y 50 μL de murexida 1mM (preparados previamente en el mismo buffer de hexamina). La mezcla se agitó en un vórtex y se dejó reposar 10 min. Las lecturas de absorbancia se obtuvieron simultáneamente a 482 y 530 nm usando un espectrofotómetro UV-Visible Cary 60 (Karamać, 2009).

El porcentaje de quelación de cobre Cu^{2+} , se calculó con la siguiente fórmula (El Hajj *et al.*, 2023).

$$\% \text{ Quelación } \text{Cu}^{2+} = \left[\frac{(A_{482}/A_{530})_c - (A_{482}/A_{530})_m}{(A_{482}/A_{530})_c} \right] * 100\%$$

Donde:

$(A_{482}/A_{530})_c$ = ratio de absorbancias del control (ausencia de muestra)

$(A_{482}/A_{530})_m$ = ratio de absorbancias en presencia de muestra.

A_{482} = complejo Cu^{2+} +Murexida

A_{530} = Murexida libre.

d. Determinación de poder reductor (FRP)

Para la determinación del poder reductor se colocaron 250 μL de extracto de higo más 2.5 mL de buffer de fosfato de sodio 0.2 M y 2.5 mL de ferricianuro de potasio al 1 %. Durante 20 minutos se mantuvo la muestra a 50 °C en baño maría (Baño de circulación de agua VWR, modelo MX7LR-20-V11B; VWR International, EUA), seguido de la adición de 2.5 mL de ácido tricloroacético al 10 %. Se centrifugó la mezcla a 650 g por 10 minutos. Con mucho cuidado se toma la capa superior y se agregó 0.5 ml de cloruro férrico al 1 %. Para su posterior lectura 700 nm. (Duan *et al.*, 2007).

e. Cálculo del porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica

Se aplicó la metodología de Duan *et al.* (2007); se preparó una emulsión de ácido linoleico 25 mg mL^{-1} utilizando como solvente etanol. Se preparó una mezcla de reacción con 400 μL de muestra más 400 μL de la emulsión de ácido linoleico y 800 μL de buffer de fosfatos 0.05 M pH 7.4. Posteriormente se incubaron las muestras en baño maría (Baño de circulación de agua VWR, modelo MX7LR-20-V11B; VWR International, EUA), a 40 °C manteniéndolas en oscuridad.

El porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica se determinó siguiendo la siguiente reacción: a 100 μL de la muestra de reacción se le agregaron 3 mL de etanol al 70 % (v/v), 100 μL de tiocianato de amonio al 30 %, y 100 μL de cloruro ferroso 0.02 M disuelto en una solución de ácido clorhídrico al 3.5 % (v/v). Después de transcurridos tres minutos se leyó inmediatamente la absorbancia a 500 nm y el porcentaje de inhibición de la muestra se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$IP\% = \left(\frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \times 100$$

A_0 = absorbancia del control y A_t = absorbancia de la muestra.

5.4.8 Cálculos computacionales de potencial químico

Para dibujar las moléculas de antocianinas se utilizó el programa GaussView 5.0 y para los cálculos de las propiedades antioxidantes el paquete computacional GAUSSIAN 09, empleando el método de la teoría del funcional de la densidad (DFT), el funcional M06-2X y el conjunto de bases 6-31G**) (Frisch et al., 2009). Entre las propiedades antioxidantes se incluyeron potencial de ionización (IP) y afinidad electrónica (AE). Adicionalmente, se determinaron las estabilidades energéticas de cada molécula simulada y sus intermediarios (aniones y cationes), así como su reactividad usando el momento dipolar.

El Potencial de ionización (PI), se determinó como la diferencia de energía entre el radical catión $E(+1)$ que se forma al transferir un electrón al radical libre y la molécula en su estado neutro $E(0)$ (Lewars, 2003).

$$IP = E_{((+1))} - E_{((0))}$$

La afinidad electrónica (AE) se determinó como la diferencia de energía entre la molécula neutra $E(0)$ y el anión que se forma al transferir un electrón a la molécula neutra $E(-1)$ (Lewars, 2003).

$$AE = E_{((0))} - E_{((-1))}$$

Las energías moleculares y momentos dipolares los calcula automáticamente el programa como derivadas de la energía (Foresman y Frisch, 1996).

5.4.9 Análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier FTIR

La identificación de los grupos funcionales de los compuestos fenólicos obtenidos de los frutos de higo, se caracterizaron mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier, en el modo de reflexión total atenuada (FTIR-ATR). Se utilizó un espectrómetro

Cary 630, equipado con un aditamento de diamante (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). En cada muestra se realizaron 64 escaneos con una resolución de 4 cm^{-1} y el rango espectral analizado fue de $4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$. El Software usado para operar el espectrómetro durante la lectura de las muestras fue MicroLabPC, mientras que el Software usado para graficar los espectros fue OriginPro 8.6.0 (OriginLab Corp., MA, USA).

5.4.10 Análisis estadístico. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), por medio del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System. Version 9.0).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Temperatura y grados días de desarrollo

La temperatura promedio que prevaleció durante el desarrollo del higo fue de 22 °C; registrándose la temperatura más baja en los meses de noviembre, diciembre y enero (18 °C) y la temperatura más alta en los meses de abril, mayo y junio (23 °C); la humedad relativa promedio fue de 69 %, con los valores más bajos en los meses de febrero a mayo (58 %) y los más altos en noviembre y diciembre (Figura 5). Hydro environment (2023) menciona que el higo puede adaptarse a diferentes climas; sin embargo, temperaturas de 15 a 18 °C son las óptimas para su desarrollo. Gutiérrez *et al.* (2014) señalan que en México el higo se desarrolla bien en el rango de temperatura media anual de 17 a 19 °C; mientras que el SIAP (2023) indica que se necesita una temperatura promedio de 25 a 28 °C con una estación seca moderada.

En relación con los autores, se puede deducir que el cultivo se desarrolló en las condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa promedio de 69 % que puede considerarse como moderadamente seco. Datos relacionados con la humedad relativa fueron escasos.

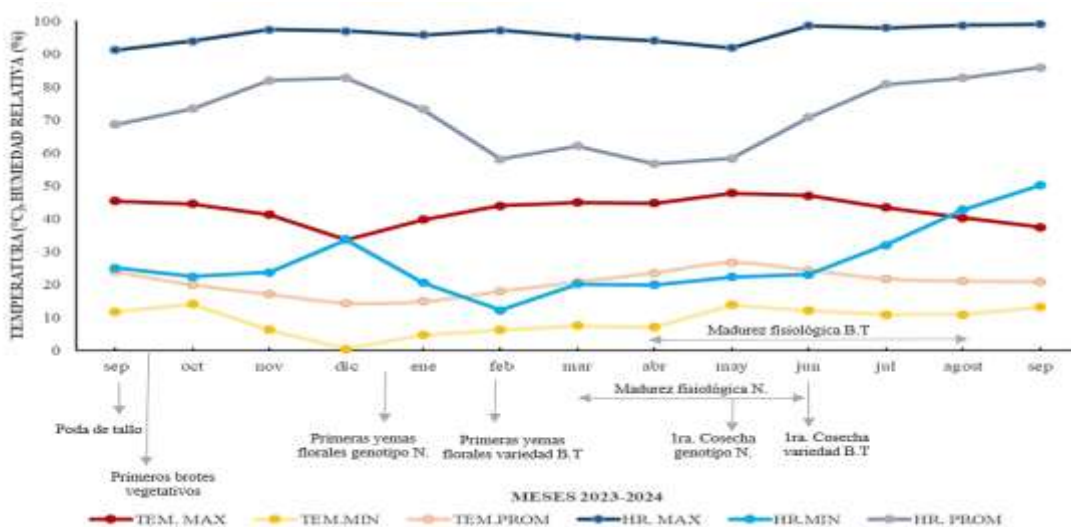


Figura 5. Temperatura y humedad relativa registrada en el invernadero, de septiembre 2023 a septiembre 2024.

Los primeros brotes vegetativos se observaron 15 días después de realizada la poda, la presencia de yemas productivas fue a los 105 días en Netzahualcóyotl y 115 días en Brown Turkey; la presencia de frutos fue a los 118 días en Netzahualcóyotl y 210 días en Brown Turkey; la cosecha de frutos maduros a los 240 días en Netzahualcóyotl y 270 días en Brown Turkey, con un intervalo de temperatura de 19 a 29 °C.

Macêdo *et al.* (2022) reportan en higo Roxo de Valinhos la presencia de los primeros brotes después de cinco días de haberse realizado la poda a un solo tallo con altura de 30 cm; la presencia de las yemas productivas a los 32 días, presencia de frutos a los 42 días y la cosecha de frutos maduros a los 92 días, con intervalo de temperatura de 29.4 a 30.5 °C. Silva *et al.* (2017) reportan en higo Roxo de Valinhos cultivados con una temperatura promedio de 27 °C y H.R. de 68 y con poda de tallo y rama de 50 cm y 40 cm, respectivamente; la presencia de los primeros brotes después de 12 días, la presencia de frutos a los 73 días y la cosecha de frutos maduros a los 130 días.

La presencia de los primeros brotes vegetativos que marcaron el inicio del crecimiento vegetativo ocurrió al acumularse 87 grados día de desarrollo (GDD) en el genotipo Turkey y de 145 GDD en el genotipo Netzahualcóyotl. La presencia de las primeras yemas productivas en el cultivar Netzahualcóyotl se registró a los 948 GDD y en Turkey a los 1136 GDD. El fin del crecimiento e inicio de madurez fisiológica de la infrutescencia requirió 1712 y 2134 GDD en Netzahualcóyotl y Turkey, respectivamente. La madurez de consumo y primera cosecha de frutos con 100 % de coloración púrpura y suave fue a los 2239 y 2714 GDD en Netzahualcóyotl y Turkey, respectivamente (Figura 6).

Bandala *et al.* (2022) señalan grados día de desarrollo a brotación en Brown Turkey y Netzahualcóyotl de 152 y 109, respectivamente, y grados día de desarrollo de fruto de 1493 y 1251 en Brown Turkey y Netzahualcóyotl, respectivamente. Las condiciones climáticas influyen sobre el tamaño de la planta, su fenología y la duración del tiempo de desarrollo y maduración de los frutos y también, sobre las épocas de cosecha, sobre todo en condiciones tropicales (Fischer y Orduz-Rodríguez, 2012).

Lo anterior indica que el desarrollo de cada genotipo requiere una acumulación diferente de grados días de desarrollo, siendo mayor la exigencia una vez iniciado el crecimiento vegetativo en el genotipo Turkey.

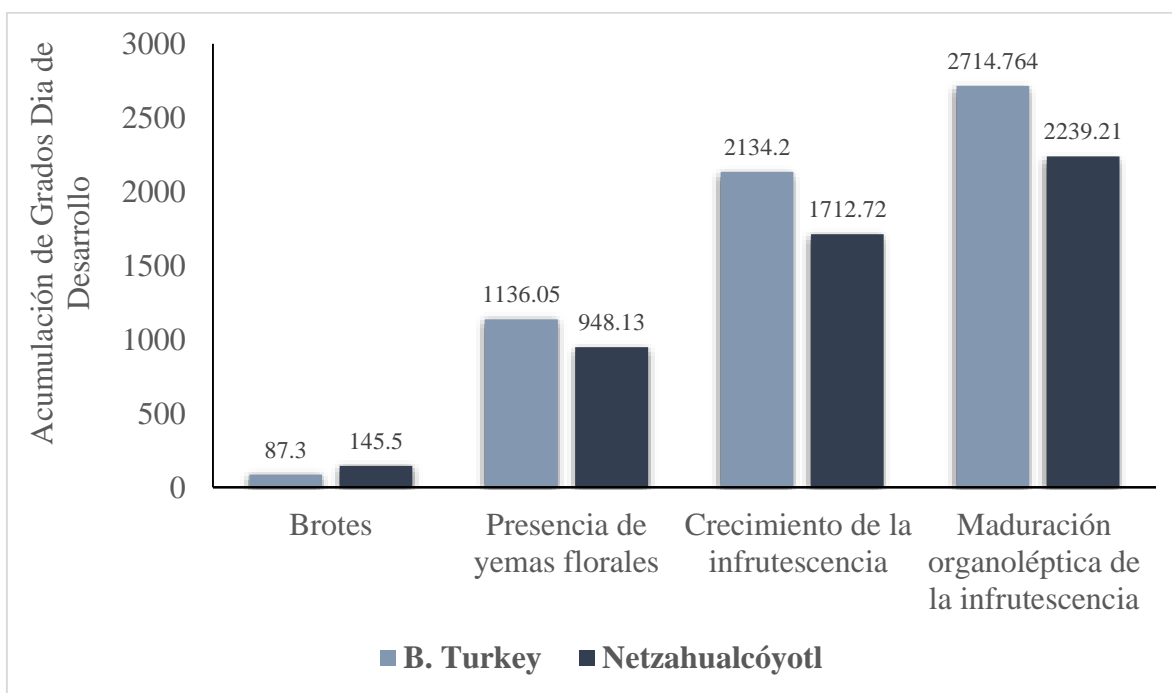


Figura 6. Acumulación de grados días en el desarrollo en plantas de higo.

6.2 Características físicoquímicas del sustrato

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, el pH del sustrato se clasificó moderadamente ácido (5.1 a 6.5), de origen orgánico al presentar una densidad aparente menor a 1.0, con un contenido de materia orgánica muy alto (mayor a 16 %) y una conductividad eléctrica ligeramente salino (de 1.1 a 2.0 dS m⁻¹). Gutiérrez *et al.* (2014) señalan que el higo se puede adaptar a diversos tipos de suelo; sin embargo, se prefiere un suelo profundo, con humedad suficiente, contenido de materia orgánica medio, un pH de 6 a 8.5; puede tolerar una salinidad moderada y requiere de una densidad aparente media que permita el desarrollo de las raíces que se ramifican en todas direcciones. Además, se menciona que el higo es un cultivo que tolera mayor salinidad al compararlo con otros

frutales como manzana, pera, durazno, nogal, cerezo; con límites de 3.8 a 4.20 dS m⁻¹ (4.20 mmho cm⁻¹) (Nievas *et al.*, 2021; Hydro environment, 2023).

En relación a los macronutrientes presentes en el suelo, el nitrógeno y fósforo disminuyeron al finalizar el desarrollo del cultivo; el contenido de nitrógeno disminuyó un 70 % y el contenido de fósforo un 90 % (Cuadro 5). Lo anterior fue el reflejo del uso de estos nutrientes. La NOM-021-RECNAT-2000 señala que un suelo se clasifica con un muy alto contenido de nitrógeno al presentar valores superiores a 16 mg Kg⁻¹ y en suelos ligeramente ácidos presentan contenidos de fósforo medio al reportar valores de 15 a 30 mg Kg⁻¹.

De acuerdo con los autores, se puede señalar que las dos variedades de higo se desarrollaron bajo las condiciones óptimas.

Cuadro 5. Características fisicoquímicas del sustrato previo y después del desarrollo del cultivo de higo

		C.E	D.A	M.O	N	P
Días	pH	(mmho cm ⁻¹)	(g cm ⁻³)	(%)	(mg Kg ⁻¹)	(mg Kg ⁻¹)
Antes						
(junio 2023)	6.72	1.13	0.86	32.21	93.67	22.74
	SD 0.11	0.30	0.011	0.397	26.863	0.291
Después						
(noviembre, 2024)	6.41	1.06	0.79	33.81	27.53	2.43
	SD 0.12	0.098	0.013	1.3	12.935	0.69

* pH: potencial de hidrogeno, C.E: conductividad eléctrica, D.A: densidad aparente, M.O: materia orgánica, N: nitrógeno, P: fósforo, SD: desviación estándar.

6.3 Crecimiento y desarrollo vegetativo

6.3.1 Número de nudos en tallo

El número de nudos en tallo registró diferencias estadísticamente ($P \leq 0.05$); los valores más altos (15 nudos) se alcanzaron en los dos genotipos al podar el tallo a 50 cm y podar las

ramas a 40 cm de longitud; el valor más bajo fue en el genotipo Turkey al podar a 25 cm el tallo y la rama a los 80cm de longitud (Cuadro 6).

6.3.2 Diámetro del tallo

El diámetro del tallo no presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$); el valor más bajo fue en el genotipo Turkey al podar el tallo a 50 cm de altura y podar las ramas a 40 cm de longitud y el valor más alto fue en Netzahualcóyotl al podar el tallo a 50 cm de altura y podar las ramas a 40 cm de longitud, con una diferencia de 3 cm (Cuadro 6). Melgarejo (1999) señala que los árboles de higo en condiciones óptimas presentan un diámetro de tallo de hasta 30 cm, sin embargo, en condiciones desfavorables, puede crecer como un arbusto e incluso de forma rastrera, desarrollando varios tallos. En base a lo anterior, se puede mencionar que el diámetro del tallo de higo por presentar un año de desarrollo fisiológico se encontró en los rangos de 21 a 24 mm.

6.3.3 Número de ramas

El número de ramas fue significativo ($P \leq 0.05$), el genotipo Netzahualcóyotl presentó el mayor con longitudes de rama de 80 cm y menor número de ramas con longitudes de 40 cm, con valores de 3 y 2 ramas por planta (Cuadro 6).

6.3.4 Velocidad de crecimiento de rama

En la velocidad de crecimiento de las ramas hubo diferencias significativas; el valor más alto fue en el genotipo Brown Turkey con poda de 25 cm de altura de tallo y 40 cm de longitud de rama, y el valor más bajo en Netzahualcóyotl con poda de 50 cm de altura de tallo y 40 cm de longitud de rama, lo cual indicó que el genotipo Turkey crece más rápido (Cuadro 6).

6.3.5 Diámetro basal y apical de la rama

El diámetro basal de la rama resultó significativo estadísticamente, los valores más altos se registraron en los dos genotipos al podar las ramas a 80 cm de longitud; el diámetro apical

no presentó diferencias estadísticamente, sin embargo, los valores más bajos fueron con el genotipo Brown Turkey (Cuadro 6). Silva *et al.* (2017) reportan diámetro de ramas de 29.71 mm en higo Roxo de Valinhos de 2 años de edad con poda de tallo y rama de 50 y 40 cm, respectivamente.

6.3.6 Número de nudos por rama

El número de nudos por rama resultó significativo ($P \leq 0.05$), en los dos genotipos los valores más altos fueron con 80 cm de la longitud de rama (Cuadro 6). Morgado *et al.* (2018) señalan que los brotes productivos de las plantas podadas pueden alcanzar 2.5 metros de longitud y hasta 20 nudos. En el presente experimento se registraron de 13 a 22 nudos con longitudes de rama de 40 y 80 cm. En particular, las plantas de higo tienen la capacidad de generar, en cada nudo, una hoja, una yema vegetativa y un fruto. Cuando las condiciones son favorables, el brote crece y da lugar a nuevos nudos y, por ende, a la formación de más frutos (Morgado *et al.*, 2018). Lo anterior indica la producción de mayor cantidad de infrutescencias.

6.3.7 Número de hojas por rama

El número de hojas por rama fue estadísticamente significativo, el genotipo Turkey con poda de 25 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de rama presentó el valor más alto; el valor más bajo fue con el genotipo Netzahualcóyotl con poda de 50 cm de altura de tallo y 40 cm de longitud de rama (Cuadro 6).

En general, se puede mencionar que a mayor grosor del tallo o longitud de ramas la velocidad de crecimiento disminuye; además, las plantas con ramas más largas presentan un mayor diámetro basal.

Cuadro 6. Crecimiento vegetativo en plantas de higo Brown Turkey y Netzahualcóyotl con poda en tallo y rama.

Genotipo	A.T (cm)	L.R (cm)	D.T (mm)	N.T	D.B.R (mm)	D.A.R (mm)	C.R	R	N.R	H.R
							(longitud/ semana)			
Brown Turkey	25	40	24.64 a	10.40 ab	12.23 b	9.03 a	5.42 a	2.70 ab	13.80 b	13.60 bc
Brown Turkey	25	80	23.23 a	9.00 b	15.88 a	10.24 a	4.56 ab	2.80 ab	22.50 a	18.80 a
Brown Turkey	50	40	21.63 a	15.20 a	13.29 ab	9.59 a	3.82 ab	2.50 ab	14.60 b	12.50 bc
Brown Turkey	50	80	23.43 a	14.40 ab	15.35 a	10.38 a	4.70 ab	2.60 ab	20.20 a	11.60 bc
Netzahualcóyotl	25	40	24.15 a	13.00 ab	11.80 b	8.68 a	4.67 ab	1.90 b	15.20 b	11.50 bc
Netzahualcóyotl	25	80	23.85 a	14.50 ab	15.17 a	9.26 a	4.57 ab	2.30 ab	22.00 a	15.30 ab
Netzahualcóyotl	50	40	24.69 a	15.40 a	12.39 b	8.69 a	2.54 b	2.30 ab	14.70 b	10.90 c
Netzahualcóyotl	50	80	21.85 a	13.80 ab	15.22 a	8.05 a	4.48 ab	2.90 a	21.00 a	13.70 bc
D.M.S.H			4.92	5.58	2.67	2.90	2.18	0.91	3.06	3.87
C.V			15.04	30.28	13.78	22.53	36.08	26.07	12.21	20.57

^{a,b,c}Medias con diferentes literales entre columnas son diferentes significativamente de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). A.T= Altura de tallo. L.R= Longitud de rama. D.T= Diámetro del tallo. N.T =Número de nudos en tallo. D.B.R= Diámetro basal de la rama. D.A.R = Diámetro apical de la rama. C.R= Crecimiento de rama. R= Número de ramas. N. R= Número de nudos por rama. H. R= Número de hojas por rama. F. R= Número de frutos por rama. D.M.S.H = Diferencia mínima significativa honesta. C.V = coeficiente de variación.

6.4 Calidad de la infrutescencia

6.4.1 Peso de la infrutescencia

El peso del fruto no resultó significativo estadísticamente; sin embargo, el valor más alto se registró en el genotipo Turkey y el más bajo con Netzahualcóyotl, con una diferencia de 14 g. Crisosto *et al.* (2010) reportan un peso en infrutescencias Brown Turkey de 37.5 - 44.3 g.; obteniéndose valores por arriba en la presente investigación (Cuadro 7). En higo Roxo de Valinhos se reportan pesos de 29 a 30 g (Vander *et al.*, 2021). Ravindra *et al.* (2014) encontraron en higos Deanna pesos de 42.5 a 65.6 g.

6.4.2 Diámetro polar, ecuatorial y forma

El diámetro polar y ecuatorial fueron diferentes estadísticamente; el valor más alto de diámetro polar se registró en el genotipo Brown Turkey con poda de 25 cm de altura de tallo y 40 cm de longitud de rama (52.76 mm) y el más bajo fue en Netzahualcóyotl con poda de 50 cm de altura de tallo y 40 cm de longitud de rama (33.37 mm). El valor más alto de diámetro ecuatorial fue en Netzahualcóyotl con poda de 25 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de rama (51.64 mm), y el valor más bajo fue con Turkey con 50 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de tallo; la forma fue mayor en el genotipo Netzahualcóyotl (Cuadro 7).

Fawzy (2023) reporta valores de 21 - 40 mm en variedades de higos negros cultivados en el medio oriente. Ciarmiello *et al.* (2015) clasifican a los higos por su tamaño; en medianos (diámetro ecuatorial de 35-49 mm y diámetro polar de 28 - 58 mm), largos (diámetro ecuatorial de 41 - 56 mm y polar de 52 - 70 mm) y muy largos (diámetros ecuatoriales mayores de 60 mm y polar de más de 70 mm).

En base a lo señalado por los autores, se puede mencionar que las infrutescencias de ambos genotipos se encontraron dentro de la clasificación de higos medianos.

Menjivar *et al.* (2015) mencionan que los valores de forma se relacionan con la esfericidad, si los valores de esfericidad son menores a uno, la forma del fruto tiende a ser más alargada, mientras que si son mayores a uno tiende a ser más aplanados o achatados, y valores igual a uno muestran frutos más redondos. Considerando lo anterior las infrutescencias Netzahualcóyotl (1.19 - 1.31) son más aplanadas en comparación a la

variedad Brown Turkey (0.72 - 0.94) con infrutescencias más redondas. Por ende, entre mayor sea el diámetro polar menor es el índice de esfericidad.

La OCDE (2015) señala que para exportar higos es primordial cumplir con normas que indican parámetros de calidad a seguir para cada país, uno de los principales es el tamaño determinado por el diámetro ecuatorial con un calibre mínimo de 40 mm; encontrándose con este valor el genotipo Netzahualcóyotl.

Cuadro 7. Diámetro polar, diámetro ecuatorial y forma en infrutescencias de higo en estado de maduración comercial

Genotipo	Altura de tallo (cm)	Longitud de rama (cm)	Peso (g)	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Forma
Brown Turkey	25	40	49.96 a	52.76 a	37.32 b	0.72 d
Brown Turkey	25	80	47.74 a	43.02 ab	38.71 ab	0.94 bcd
Brown Turkey	50	40	53.63 a	42.15 ab	36.29 b	0.90 cd
Brown Turkey	50	80	50.71 a	45.53 ab	35.21 b	0.77 d
Netzahualcóyotl	25	40	42.59 a	33.92 b	44.43 ab	1.31 a
Netzahualcóyotl	25	80	44.03 a	41.67 ab	51.64 a	1.25 ab
Netzahualcóyotl	50	40	44.86 a	33.37 b	40.74 ab	1.19 abc
Netzahualcóyotl	50	80	39.72 a	38.01 b	46.37 ab	1.23 abc
D.M.S.H			29.5	13.48	29.5	0.33
C.V			27.00	19.28	27.00	18.92

^{a,b,c,d} Medias con diferentes literales entre columnas son diferentes significativamente de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). D.M.S.H = Diferencia mínima significativa honesta. C.V = coeficiente de variación.

6.4.3 Firmeza

La firmeza no resultó significativa estadísticamente ($P \leq 0.05$); sin embargo, el valor más alto y bajo se registró en el genotipo Brown Turkey, firmeza de 174 gf con poda de 50cm de altura de tallo y 40 cm de longitud de rama, y de 95 gf con poda de 25 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de semilla (Cuadro 8).

Crisosto *et al.* (2010) reportan en higo Brown Turkey una textura de 1.07 N (109.11 gf). En higo Roxo de Valinhos se reportan valores de 5.8 a 8.4 N (Vander *et al.*, 2021).

Cuadro 8. Parámetros de calidad organoléptica y nutricional en infrutescencias de higo al momento de su cosecha en madurez comercial.

Genotipo	A.T (cm)	L.R (cm)	Firmeza	SST	pH	Acidez	Vitamina
			gf	(%)		(% ácido cítrico)	C (mg g ⁻¹)
Brown Turkey	25	40	125.75 a	26.27 a	5.86 ab	0.32 ab	0.038 ab
Brown Turkey	25	80	95.63 a	21.18 a	5.53 b	0.34 ab	0.058 ab
Brown Turkey	50	40	174.88 a	22.12 a	5.55 b	0.30 ab	0.026 b
Brown Turkey	50	80	141.13 a	27.28 a	5.90 ab	0.33 ab	0.067 a
Netzahualcóyotl	25	40	169.44 a	29.79 a	5.71 ab	0.38 ab	0.033 ab
Netzahualcóyotl	25	80	171.00 a	31.04 a	6.01 a	0.43 a	0.045 ab
Netzahualcóyotl	50	40	144.00 a	25.12 a	5.57 b	0.32 ab	0.031 ab
Netzahualcóyotl	50	80	124.94 a	19.96 a	5.80 ab	0.25 b	0.050 ab
D.M.S.H			104.11	17.67	0.39	0.13	0.038
C.V			31.01	24.66	2.41	13.81	22.59

^{a,b,c} Medias con diferentes literales entre columnas son diferentes significativamente de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). A.T= Altura de tallo. L.R= Longitud de rama. AN=antocianinas. gf = gramos fuerza. D.M.S.H = Diferencia mínima significativa honesta. C.V = coeficiente de variación.

6.4.4 Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales en las infrutescencias de los dos genotipos no presentó diferencia significativa; no obstante, el máximo valor se registró en el genotipo Netzahualcóyotl (31 % SST) con poda de 25 cm de altura del tallo y 80 cm de longitud de rama, y el valor mínimo también se registró con Netzahualcóyotl (19 % SST) con poda de 50 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de rama (Cuadro 8).

Lidón (2012) reporta en variedades de higo negro contenido de sólidos solubles totales de 15- 19; Chaparro *et al.* (2015) menciona que el porcentaje de sólidos solubles totales varía de acuerdo al estado de madurez de la fruta, registrando $6 \pm 0.9^\circ$ brix para higos verdes y 12.5 ± 0.9 para higos maduros. En higo Roxo de Valinhos se reportan valores de 11.30 a 20.8 (Vander *et al.*, 2021). Ravindra *et al.* (2014) en higo Deanna reportan valores de 13 a 15% SST.

6.4.5 pH

El pH fue significativo estadísticamente, el valor más alto se registró en el genotipo Netzahualcóyotl (pH= 6) con poda de 25 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de rama, el valor más bajo fue en Brown Turkey (pH= 5) con poda de 25 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de rama (Cuadro 8).

Baldoni *et al.* (2016) señalan una relación entre el porcentaje de sólidos solubles totales y el pH, indicando que el pH se incrementa cuando los ácidos orgánicos son transformados a azúcares, estos azúcares son utilizados en el proceso de respiración, lo que ocasiona una disminución de la acidez y un aumento de pH.

6.4.6 Ácido cítrico

El contenido de ácido cítrico presente en las infrutescencias varió estadísticamente, el genotipo Netzahualcóyotl registró el valor más alto (0.43) y bajo (0.25), ambos valores al presentar 80 cm de longitud de rama (Cuadro 8).

De acuerdo con Cárdenas *et al.* (2019) el periodo de cosecha y la época de fertilización influyen en parámetros como: acidez, sólidos solubles y los niveles de fenoles y antocianinas.

Lo anterior indica que la variedad y la poda influyen el contenido de ácidos orgánicos. Baldoni *et al.* (2016) reporta valores de acidez de 0.15 a 0.25 % en higos. En higo Roxo de Valinhos se reportan valores de 0.13 a 0.21 % (Vander *et al.*, 2021). Ravindra *et al.* (2014) en higo Deanna reportan valores de 0.16 a 0.17 %.

6.4.7 Vitamina C

El contenido de vitamina C presente en las infrutescencias varió estadísticamente, el genotipo Brown Turkey registró el valor más alto (0.067 mg g^{-1}) y bajo (0.026 mg g^{-1}), ambos valores al presentar poda de 50 cm de altura del tallo (Cuadro 8).

En higo Roxo de Valinhos se reportan valores de 13.3 a 20.8 mg 100 g⁻¹ (Vander *et al.*, 2021).

6.5 Cuantificación de compuestos fenólicos totales, antocianinas y procianidinas

6.5.1 Compuestos fenólicos totales

Se observan diferencias estadísticas significativas para cada uno de los compuestos fenólicos. Los higos con mayor contenido de fenoles totales se obtuvieron del genotipo Netzahualcóyotl (2.85 a 3.5 mg GAE Gps⁻¹) correspondiente a cada tratamiento, sin embargo, se observa que las infrutescencias Netzahualcóyotl obtenidas de plantas con ramas más cortas incrementaban su contenido fenólico. Para el caso de la variedad Brown Turkey el contenido de fenoles fue en un rango más bajo de 1.052-1.641 mg GAE gPS⁻¹, no obstante, superan los valores reportados por Harzallah *et al.*, 2016 quienes encuentran una mayor cantidad de fenoles ($0.50 - 0.74 \text{ mg GAE g}^{-1}$) en el jugo de cáscara, concluyendo que la cáscara es responsable del mayor contenido de fenoles totales.

Considerando diferentes ecotipos de higo, el contenido de fenoles totales varía entre 51 a 280 mg equivalentes de ácido gálico 100 g⁻¹ de peso fresco (Veberic y Mikulic-Petkovsek, 2016; Aljane *et al.*, 2020). Los compuestos fenólicos más frecuentes y abundantes en las diferentes variedades de higo se concentran en tres grandes grupos: los ácidos fenólicos, flavonoides y proantocianidinas. En el cuadro 9, se muestra el contenido de fenoles

totales, flavonoides, procianidinas, flavonoles y antocianinas presentes en las infrutescencias de higo analizadas.

En cuanto a fenoles, Cruz (2018) reporta valores de 101.6 mg AG 100g⁻¹ de muestra de higo. Cabe resaltar que en este estudio la variedad con mayor contenido de fenoles en la mayoría de los tratamientos es la variedad Brown Turkey (tratamiento 1: poda de tallo 25 cm y longitud de rama 40 cm, tratamiento dos: poda de tallo 25 cm y longitud de rama 80 cm, y tratamiento tres: poda de tallo 50 cm y longitud de rama 40 cm), seguido del tratamiento siete correspondiente a la variedad Netzahualcóyotl, poda de tallo 50 cm y 40 cm de longitud de rama, donde se observa que el contenido de fenoles en los higos disminuye cuando las ramas de las plantas que se obtienen son más largas (80 cm).

6.5.2 Flavonoides

En otro punto, el mayor contenido de flavonoides (0.74 mg CE gPS⁻¹) fue para el tratamiento Netzahualcóyotl con 25 cm de tallo y 40 cm de longitud en rama ($P \leq 0.05$), caso contrario a la variedad Brown Turkey con el mismo tratamiento (0.08mg CE gPS⁻¹). Resultados similares a los que encontró Solomon *et al.*, 2006 en la variedad Brown Turkey (3.6 ± 0.4 mg CE 100 g⁻¹). Harzallah *et al.* (2016), encuentran que de acuerdo a la variedad la concentración de flavonoides totales se va a presentar en mayor o menor cantidad en diferentes partes del fruto. Martin (2017) menciona que los flavonoides o bioflavonoides, forman un grupo de aproximadamente 3,000 compuestos fenólicos que tienen una estructura química similar, dotándolos de propiedades funcionales importantes al ser consumidos.

6.5.3 Flavonoles

Las infrutescencias presentaron diferencias entre el contenido mayor o menor de flavonoles, lo cual se debe al contenido de flavonoides presentes en las mismas, observando que las infrutescencias de Brown Turkey con menor altura de tallo (25 cm) registraron un

contenido mayor de flavonoides ($0.08-0.2 \text{ mg CE gPS}^{-1}$) y menor cantidad de flavonoles ($0.06 \text{ mg RE gPS}^{-1}$), comparado con los tratamientos aplicados al genotipo Netzahualcóyotl. Dentro de los grupos de los flavonoides los flavonoles son los que poseen una mayor actividad (Li *et al.*, 2019).

6.5.4 Antocianinas

El genotipo más sobresaliente en antocianinas fue la variedad Brown Turkey (50 cm de altura de tallo, 40 y 80 cm de longitud de rama respectivamente) con $0.18 \text{ mg GCE gPS}^{-1}$, resultados similares a lo reportado en la literatura para higos Brown Turkey ($1.38-5.47 \text{ ug/g FW}$), (Lama *et al.*, 2020).

Las antocianinas desempeñan un papel crucial en la atractiva coloración, ejemplo de ello son las ciruelas. Además de que los factores sanitarios y la apariencia visual son puntos clave para atraer al consumidor no se debe dejar un lado el aspecto de la salud, que se atribuye a compuestos fenólicos no visibles, así como a la presencia de antocianinas (Aiyer *et al.*, 2012; Bradish *et al.*, 2011; Kaume *et al.*, 2013; Rodríguez- Mateos *et al.*, 2012).

El contenido de antocianinas de la variedad Brown Turkey en comparación con otras variedades moradas, es mayor. Tanto para higos maduros como inmaduros, la cáscara muestra niveles más altos de antocianinas en comparación con la pulpa. Como resultado las frutas de piel negra tenían mayor concentración de antocianinas que las de piel morada o más clara con valores que oscilan en $27.0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ (Solomon *et al.*, 2006), además de ser afectados por procesos de maduración o de secado, mostrando una disminución en las proantocianinas en higos de color morado como consecuencia del proceso de secado, caso contrario a lo que se reporta en higos de variedades amarillas (Fawzy, 2023).

6.5.5 Procianidinas

Las procianidinas son de los grupos más abundantes en frutas, zumos de frutas, vino tinto y chocolate (Fernández *et al.*, 2007). El contenido de procianidinas en higos frescos se

encuentra en un rango de 0.62 - 0.75 mgCE g⁻¹ para el total de la fruta, pero en mayores cantidades cuando en la parte de cáscara (2.2-2.63 mgCE g⁻¹), incluso más que en pulpa (0.34 - 0.36 mgCE g⁻¹) (Kamiloglu y Capanoglu, 2015). Para este estudio la variedad Netzahualcóyotl destaca en el contenido de procianidinas (0.77 - 0.0936 mgCE gPS⁻¹) a comparación de la variedad Brown Turkey, posiblemente debido a la cantidad de fenoles totales que se tiene, no obstante, su contenido disminuye cuando se tiene una altura de tallo menor (25 cm) y una longitud de rama mayor (80 cm).

De manera relevante se tiene que el contenido de antocianinas (0.18 mg GCE gPS⁻¹) en las infrutescencias Brown Turkey incrementa en higos de plantas con las alturas de tallo mayor (50 cm), independientemente de la longitud de rama, pero estos compuestos disminuyen cuando se reduce la altura en el tallo. Caso contrario al compararlo con el genotipo Netzahualcóyotl, donde predominan los grupos de fenoles, flavonoides, procianidinas, pero no el contenido de antocianinas, atribuible posiblemente al método utilizado para su extracción, retomando que para la extracción de fenoles se sonificó y se utilizó como solvente agua y para la extracción de antocianinas agitación con metanol 80%. Álvarez y Bagué (2012) hacen referencia que el método de extracción influye en el potencial que tiene el extracto obtenido para inhibir los radicales libres.

Cuadro 9. Compuestos fenólicos en infrutescencias de higo liofilizadas

Genotipo	Altura de tallo	Longitud de rama	Fenoles	Flavonoides	Procianidinas	Flavonoles	Antocianinas
			totales mg GAE gPS ⁻¹	mg CE gPS ⁻¹	mg CE gPS ⁻¹	mg RE gPS ⁻¹	mg GCE gPS ⁻¹
Brown Turkey	25 cm	40 cm	1.052 d	0.08 c	0.474 c	0.0692 b	0.0697 e
Brown Turkey	25 cm	80 cm	1.641 c	0.22 cb	0.559 c	0.0669 b	0.0967 de
Brown Turkey	50 cm	40 cm	1.472 c	0.14 cb	0.432 c	0.4667 ab	0.1837 a
Brown Turkey	50 cm	80 cm	1.457 c	0.26 cb	0.503 c	0.5803 a	0.1863 a
Netzahualcóyotl	25 cm	40 cm	3.48 a	0.74 a	0.902 ab	0.7186 a	0.126 bcd
Netzahualcóyotl	25 cm	80 cm	2.85 b	0.31 b	0.77 b	0.5182 ab	0.1519 b
Netzahualcóyotl	50 cm	40 cm	3.5 a	0.32 b	0.853 ab	0.5455 a	0.0984 cde
Netzahualcóyotl	50 cm	80 cm	3.03 b	0.21 cb	0.936 a	0.2594 ab	0.1387 bc
DMSH			0.3597	0.1922	0.138	0.4749	0.0408
CV			5.509	23.627	7.223	41.664	10.997

^{a,b,c,d,e} Medias con diferentes literales entre columnas son diferentes significativamente de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). mg GAE = miligramos equivalentes de ácido gálico. mg CE = miligramos equivalentes de catequina. mg RE = miligramos equivalentes de rutina. mg GCE = miligramos equivalentes de cianidina-3 glucósido. gPS = gramo de peso seco. D.M.S.H = Diferencia mínima significativa honesta. C.V = coeficiente de variación.

6.6 Determinación de la capacidad antioxidante

6.6.1 Inhibición del radical DPPH

En general la variedad Brown Turkey mostró mayor inhibición de radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), (Figura 7). Con 91.27 % la variedad Brown Turkey con 25 cm de altura de tallo y 80 cm de longitud de rama fue el que destacó, seguido de Brown Turkey con 50 longitud de rama 40 cm (85.97 %) y Brown Turkey longitud de rama de 80 cm (85.67 %) ambos con poda a 50 cm en altura de tallo. Al evaluar las características de compuestos fenólicos de estos tratamientos se observó que destacó en el contenido de antocianinas y flavonoles, que contribuyen a su capacidad antioxidante para inhibir este radical. Resultados semejantes se obtuvieron en la variedad Netzahualcóyotl cuando se evaluaron las infrutescencias obtenidas de longitudes de ramas mayores (80 cm) y disminuyó hasta en un 15 % su capacidad antioxidante en infrutescencias de ramas cortas, no obstante, los resultados obtenidos en general por los tratamientos son superiores a los reportados por Zaragoza (2015), quien encontró en pulpa de higo de diferentes variedades un rango de 17 % - 48 % para la inhibición de este radical y de 35 % - 83 % en epidermis. De acuerdo con Kamiloglu y Capanoglu (2015), la capacidad antioxidante para inhibir el radical DPPH es mayor en los higos morados que en los higos verdes oscilando entre los 241 (mg TE 100 g⁻¹) y esta disminuye después del secado hasta 13 - 57 %.

6.6.2 Inhibición del radical anión superóxido

En la Figura 8 se observó que las infrutescencias Brown Turkey obtenidas de plantas con altura de tallo de 25 cm y longitud de rama de 40 cm presentaron mayor porcentaje de inhibición del radical anión superóxido con un 57.16 %, frente a los demás tratamientos (Figura 6).

Otra de las pruebas que ayuda a determinar la capacidad antioxidante de un material vegetal es la inhibición del radical anión superóxido. Radical asociado con la producción de especies reactivas de nitrógeno que alteran el sistema circulatorio, además de intervenir en la

producción de especies reactivas de oxígeno importantes en los desórdenes oxidativos (Rojano et al., 2008).

6.6.3 Quelación de cobre

En este estudio se encontró que las infrutescencias Brown Turkey obtenidas de plantas con altura de tallo de 25 cm y longitud de rama de 80 cm mostraron mayor porcentaje para quelar cobre (74.53 %); siguió la variedad Netzahualcóyotl con infrutescencias obtenidas de alturas de rama de 80 cm (73.83 % - 73.93 %), lo que se puede atribuir a su contenido de procianidinas y flavonoles presentes en estas muestras (Figura 9).

Las propiedades antioxidantes de los compuestos fenólicos son las más deseables, entre ellas impiden que los metales aceleren las reacciones de peroxidación. La propiedad antioxidante de los quelantes se evalúa cuando se forma un complejo de entre el antioxidante y el metal, evitando que la oxidación lipídica se desarrolle. Por lo tanto, la capacidad de quelación de metales es uno de los indicadores de la actividad antioxidante que suele combinarse con otros ensayos antioxidantes. De este modo, los grupos hidroxilo, al estar ligados a un anillo bencénico, tienen la capacidad de que el par de electrones del átomo de oxígeno interactúe con los electrones del anillo, lo que les otorga propiedades particulares en comparación con otros alcoholes. Además, pueden funcionar como quelantes, especialmente los fenoles no flavonoides, formando complejos con metales divalentes o trivalentes, principalmente con el hierro y el aluminio, lo que podría tener también implicaciones en términos nutricionales (Gimeno, 2004; Mejía *et al.*, 2021).

6.6.4 Poder reductor (FRP)

Se observaron diferencias estadísticas significativas (Figura 10), el tratamiento sobresaliente en cuanto a poder reductor o conocido también por FRP (poder reductor férrico) fue en la variedad Netzahualcóyotl con poda de 25 cm de altura de tallo y 80 cm en la longitud de sus ramas mostrando una mayor absorbancia (0.42), por el contrario, las absorbancias menores (0.2- 0.21) las presentaron los tratamientos uno (Brown Turkey, 25 cm altura de

tallos, 40 cm longitud de rama) y dos (Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama). Un estudio realizado por Kehal *et al.* (2021) concluyeron que no existen diferencias significativas en la capacidad antioxidante de los higos para el caso de poder reductor, ya sea que se consuman frescos o deshidratados, incluso en el proceso de digestión después de ser consumido, encontrando valores de 491 - 890 mg AAE 100g⁻¹ para higos frescos. En otro punto de vista, Harzallah *et al.* (2016) afirman que, los zumos de higo tienen un gran poder reductor incluso por arriba del ácido ascórbico.

6.6.5 Inhibición de peroxidación lipídica

Con resultados positivos los compuestos fenólicos de higo mostraron tener un efecto de retardo de este fenómeno en un ambiente de 40 °C. Como se registró en la figura 11, las muestras se midieron al paso de 24 horas, 48 horas y 72 horas para observar porcentaje de inhibición que tienen los extractos fenólicos de las infrutescencias con el transcurso del tiempo. En el primer día no se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos inhibiendo la peroxidación lipídica en un 48-50 %. Al transcurrir 48 horas de incubación, las infrutescencias aumentaron su poder de inhibición, resaltando de manera significativa ($P \leq 0.05$) el genotipo Netzahualcóyotl del tratamiento seis (25 cm de altura de tallo y 80 cm longitud de rama) con un mayor porcentaje de inhibición (58.66 %), y menor para el tratamiento ocho (55.43 %) de la misma variedad pero a una altura de tallo mayor (50 cm altura de tallo y 80 cm de longitud de rama), lo que mostró que las infrutescencias de higo disminuyeron su capacidad para inhibir la peroxidación lipídica cuando se obtuvieron de plantas con tallos más altos, al igual que la variedad Brown Turkey mostró un comportamiento semejante. Al pasar 72 horas, las mediciones se detuvieron debido a que los porcentajes de inhibición disminuyeron, lo que significa que las muestras habían llegado a su máximo potencial a las 48 horas, manteniéndose con un mayor porcentaje de inhibición el tratamiento seis (Netzahualcóyotl, poda de tallo 25 cm y 80 cm de longitud de rama).

La peroxidación es un fenómeno causado por la oxidación de los lípidos a través de la formación de peróxidos, desencadenado por factores como la luz, la temperatura, humedad, acidez, iones metálicos, clorofila u otros pigmentos, y ocasionan la pérdida de la calidad de

los alimentos sobre todo en las materias grasas, provocan daños en los tejidos biológicos y se relacionan con la presencia de afecciones a la salud de quien las consume (Delgado, 2004).

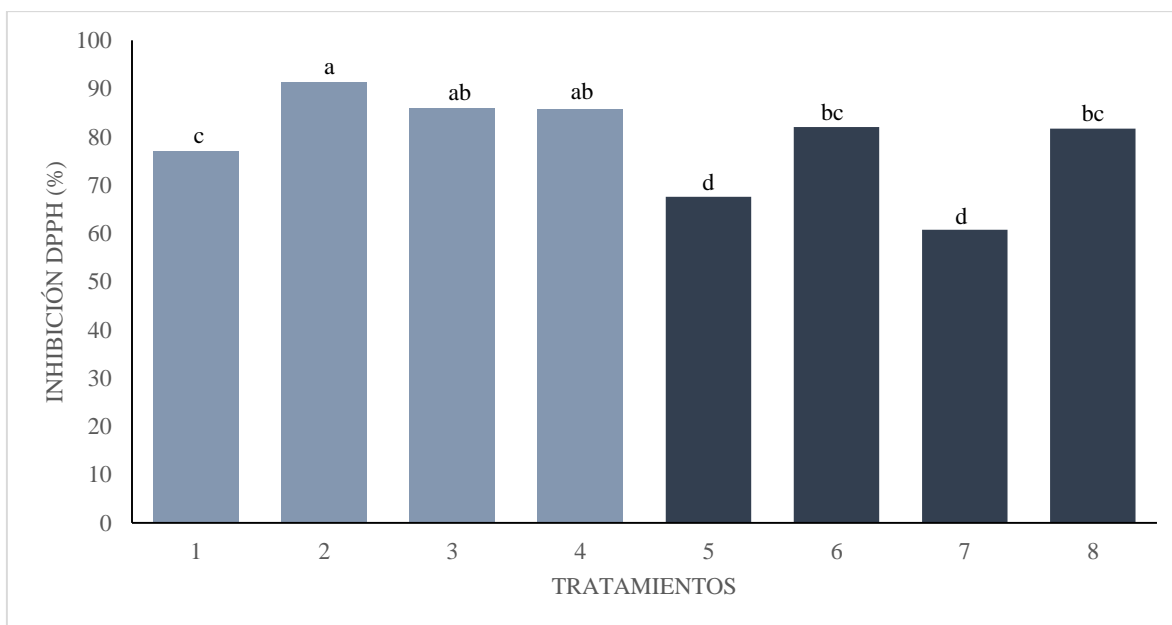


Figura 7. Porcentaje de inhibición DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazilo). Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Tratamiento 1: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 2: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 3: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 4: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 5: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 6: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 7: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 8: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama.

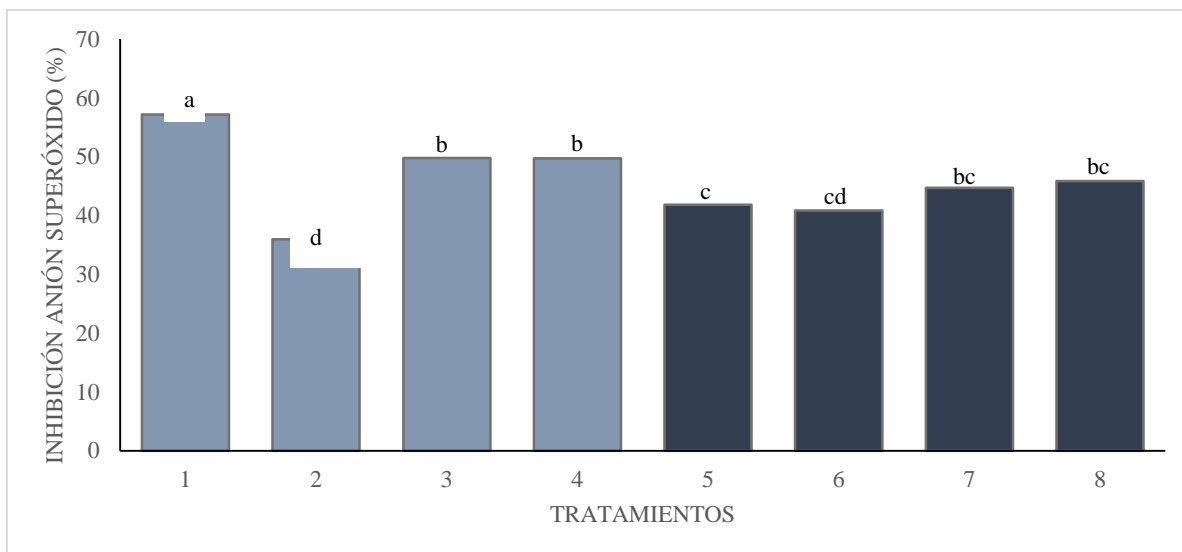


Figura 7. Porcentaje de inhibición anión superóxido. ^{a,b,c,d} Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Tratamiento 1: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 2: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 3: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 4: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 5: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 6: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 7: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 8: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama.

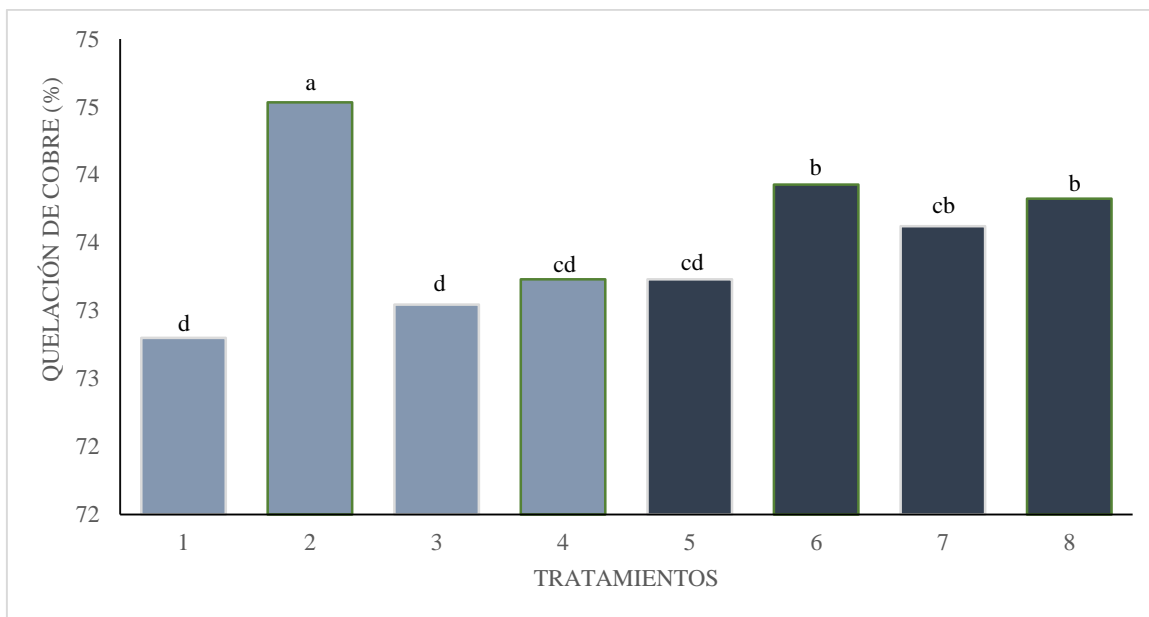


Figura 8. Porcentaje de quelación de cobre. ^{a,b,c,d} Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Tratamiento 1: Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;

Tratamiento 2: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;

Tratamiento 3: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;

Tratamiento 4: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;

Tratamiento 5: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;

Tratamiento 6: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;

Tratamiento 7: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;

Tratamiento 8: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama.

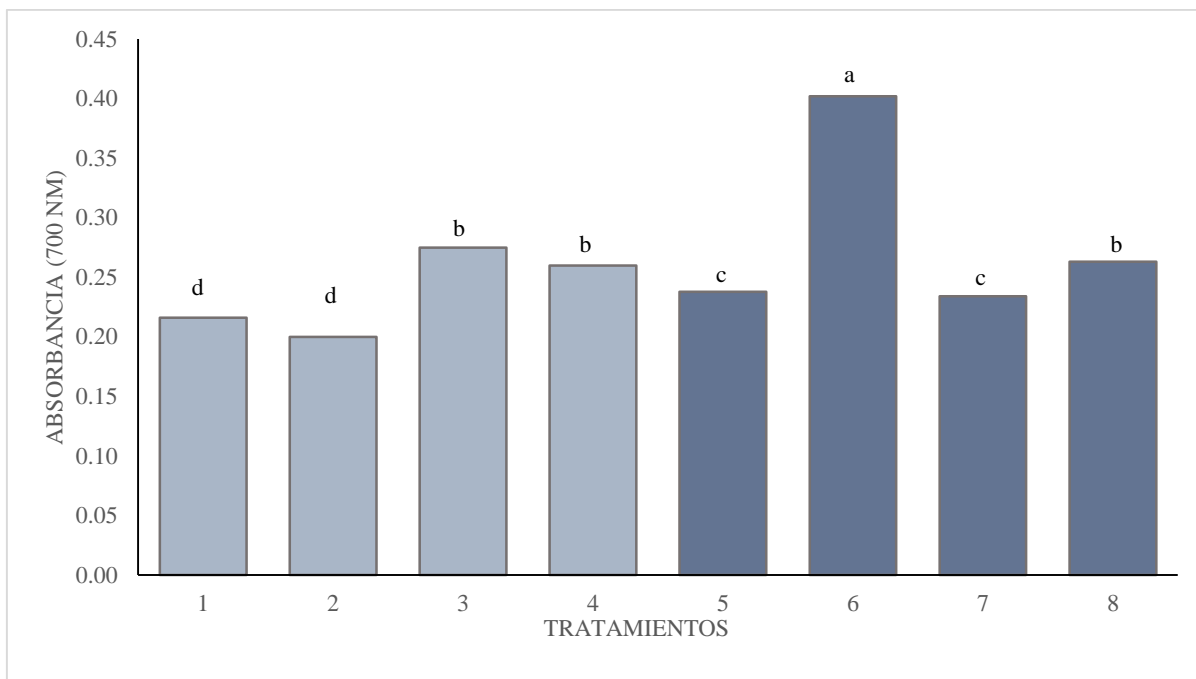


Figura 9. Poder reductor. Mayor absorbancia a 700 nm mayor poder reductor. ^{a,b,c,d} Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).
Tratamiento 1: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 2: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 3: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 4: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 5: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 6: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 7: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 8: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama.

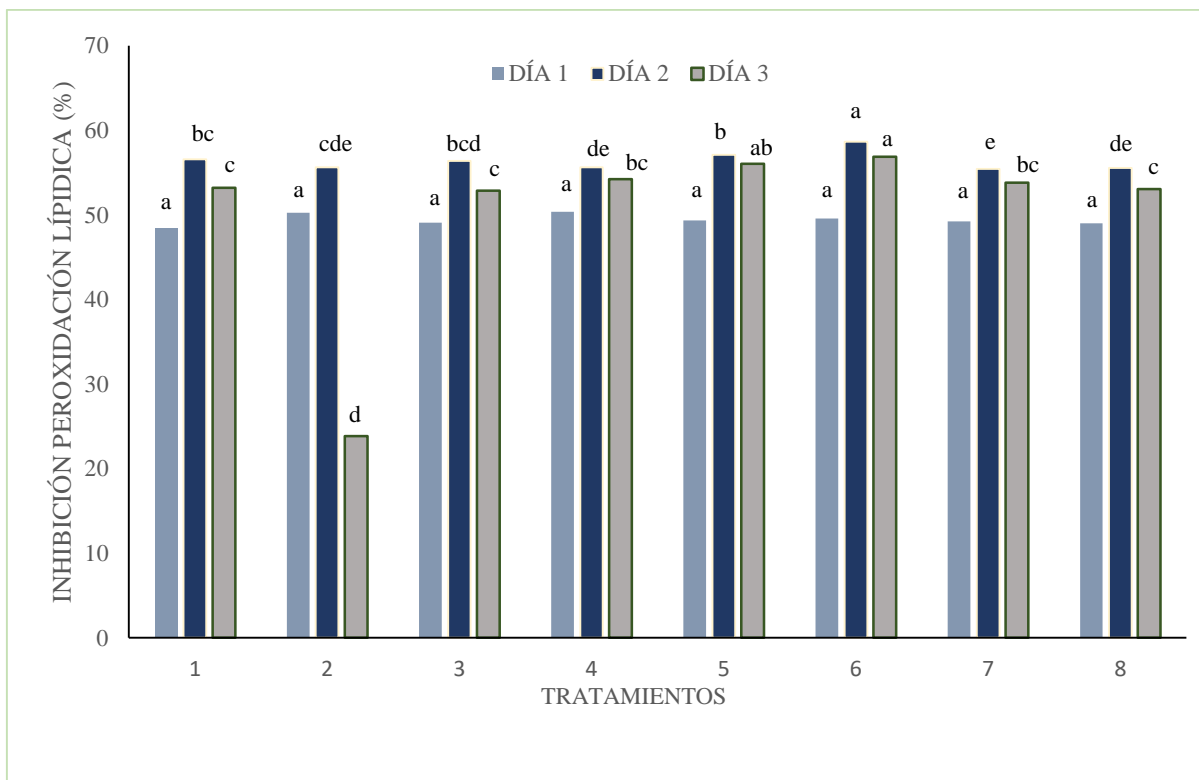


Figura 10. Porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica. ^{a,b,c,d} Medias con la misma letra para columnas con el mismo día son iguales de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).
Tratamiento 1: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 2: variedad Brown Turkey, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 3: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 4: variedad Brown Turkey, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 5: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 6: variedad Netzahualcóyotl, 25 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama;
Tratamiento 7: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 40 cm longitud de rama;
Tratamiento 8: variedad Netzahualcóyotl, 50 cm altura de tallo, 80 cm longitud de rama.

Es fundamental resaltar los métodos analíticos empleados para medir la actividad antioxidante, ya que, aunque existen diversos enfoques, estos varían en varios aspectos tanto teóricos como metodológicos, lo que provoca diferencias en los resultados. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta varias variables, como las fuentes de oxidación, concentraciones, interacciones con otras especies oxidantes y las matrices biológicas. La selección del método apropiado o de una combinación de métodos es crucial para una evaluación precisa de la actividad antioxidante, además incluso se resalta que el contenido de fitoquímicos (fenoles, flavonoides, difenoles, taninos y antocianinas) no solo depende de la variedad de la fruta,

sino que también presenta variaciones significativas entre las diferentes partes de la fruta. En el caso del higo, se observa que su capacidad antioxidante está principalmente asociada con la cáscara, más que con la pulpa (Harzallah *et al.*, 2016; Mejía *et al.*, 2021).

De acuerdo con lo anterior, el tratamiento que resultó tener mayor capacidad para inhibir los radicales seleccionados fue el tratamiento seis correspondiente a la variedad Netzahualcóyotl a 25 cm de altura de tallo y 80 cm en la longitud de sus ramas, seguido del tratamiento 3: variedad Brown Turkey 50 cm de altura de tallo y 40 cm de longitud de rama, los cuales dentro de sus compuestos fenólicos destacaron en el contenido de flavonoles y antocianinas. En general a pesar de que el contenido de compuestos fenólicos en higo es menor a otros frutales como los berries, arándanos, moras, frutillas y frambuesas (Speisky *et al.*, 2012), muestran una excelente capacidad antioxidante, por lo que resulta interesante conocer a profundidad cual es el compuesto o la molécula responsable de esta actividad.

6.7 Cálculos computacionales

Para complementar los resultados experimentales de actividad antioxidante, por medio de cálculos computacionales se analizaron las propiedades antioxidantes de cuatro moléculas de antocianinas reportadas en higo, las primeras dos son de las más abundantes (cianidina-3-rutinósido, cianidina-3,5-diglucósido), seguidas de dos más que son inusuales o raras y que han sido poco estudiadas (cianidina-3-malonilglucósido y epicatequina-4,8-cianidina-3-rutinósido). Las estructuras de estas moléculas se muestran en la Figura 12.

Durante las reacciones antioxidantes los compuestos fenólicos donan electrones para neutralizar a los radicales libres y aceptan electrones para regenerarse y continuar el ciclo antioxidante. El potencial de ionización (PI) se define como la energía requerida para remover un electrón de una molécula (Lewars, 2003), de tal manera que entre menor es el PI se dona más fácilmente el electrón, sobre estas bases el PI de las antocianinas analizadas es:

cianidina-3-rutinósido > cianidina-3,5-diglucósido = cianidina-3-malonilglucósido > epicatequina-4,8-cianidina-3-rutinósido

La afinidad electrónica (AE) se define como la energía liberada cuando una molécula acepta un electrón (Lewars, 2003), entre mayor es la AE mayor es la capacidad de aceptar electrones (regenerarse) y sobre estas bases el AE de las antocianinas analizadas es:

cianidina-3,5-diglucósido > cianidina-3-malonilglucósido > cianidina-3-rutinósido > epicatequina-4,8-cianidina-3-rutinósido

Cabe destacar que las cuatro antocianinas mostraron valores de PI (3.48-5.44 eV) que son más bajos a los reportados para quercetina (7.22 eV), lo que indica que tienen mayor capacidad para donar sus electrones. En cuanto a la AE las antocianinas alcanzaron valores (0.61-1.06 eV) intermedios a quercetina (0.76 eV). Este resultado es importante, ya que mediante estudios experimentales y computacionales se ha demostrado que quercetina es uno

de los antioxidantes naturales más potentes y también forma parte de los flavonoides encontrados en frutos de higo (Mendoza y Glossman, 2005).

Para estimar la forma en que son más estables las moléculas de las antocianinas se determinó su energía en su estado neutro, así como de anión y catión. De manera general se observa, en el Cuadro 10, que las cuatro moléculas tienden a ser más estables en su forma de anión porque tuvieron energías más negativas que en su estado neutro o como catión.

Los radicales libres por sus electrones desapareados, inducen efectos de polarización o formación de momentos dipolares (asimetría de la carga electrónica) en las antocianinas, por lo que aquellas que tienen momentos dipolares mayores podrían reaccionar más rápido con los radicales libres (Levine, 2004). Bajo este contexto, el orden de reactividad de estas antocianinas es el siguiente:

cianidina-3-rutinósido > cianidina-3-malonilglucósido > epicatequina-4,8-cianidina-3-rutinósido > cianidina-3,5-díglucósido

Es importante aclarar que no necesariamente las moléculas más reactivas son mejores antioxidantes, ya que depende de la facilidad con que donen los electrones y la estabilidad de los intermediarios que se forman. Con base en todas las variables analizadas, cianidina-3-rutinósido podría ser la antocianina con mejor perfil antioxidante.

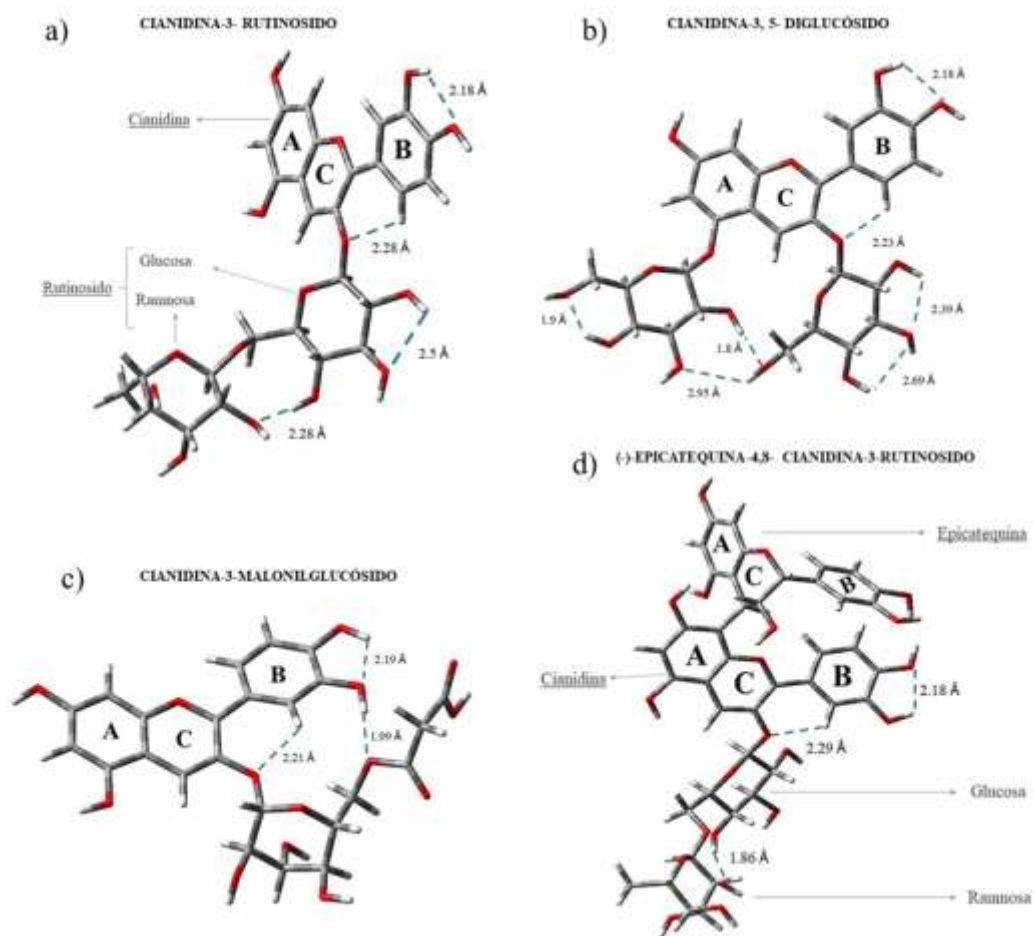


Figura 12. Moléculas de antocianinas presentes en infrutescencias de higo. a) Cianidina-3-rutinosido, b) Cianidina-3,5-diglucósido, c) Cianidina-3-malonilglucósido, d)(-)-Epicatequina-4,8- Cianidina-3-rutinosido.

Cuadro 10. Cálculos computacionales de potencial químico de antocianinas presentes en infrutescencias de higo

Molécula	Propiedades								
	Energía (Hartrees)			Estabilidad (ΔE kcal/mol)			AE (eV)	PI (eV)	MD (Debyes)
	Molécula neutra	Anión	Catión	Molécula neutra	Anión	Catión			
Cianidina-3-rutinosido	-2175.91	-2175.99	-2175.78	50.20	0	131.78	0.75	3.48	11.77
Cianidina-3,5-diglucósido	-2251.12	-2251.21	-2250.99	56.48	0	138.05	1.06	3.84	5.27
(-)-Epicatequina-4,8-Cianidina-3-rutinosido	-3206.09	-3206.18	-3205.97	56.48	0	131.78	0.61	5.44	9.60
Cianidina-3-malonilglucósido	-1981.58	-1981.65	-1981.45	43.93	0	125.50	0.96	3.84	9.96

ΔE = diferencia de energía entre la molécula neutra y el anión y diferencia de energía entre el catión y el anión, se tomó como referencia el anión ya que fue la molécula con la energía más negativa, es decir, la energía más baja o forma más estable de cada antocianina estudiada. AE: afinidad electrónica. PI: potencial de ionización. MD: momento dipolar.

6.8 Análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier FTIR

En la figura 13, la región de los $3400 - 3100 \text{ cm}^{-1}$ registró una banda ancha correspondiente al estiramiento de los grupos hidroxilo (O–H) que estuvieron presentes en todas las moléculas de los diferentes estándares analizados; se obtuvo otra banda con menor intensidad, comprendida en la región de $2900 - 2800 \text{ cm}^{-1}$, la cual se atribuye a los estiramientos de los grupos C–H que también estuvieron presentes en todas las moléculas de los estándares analizados (Silverstein y Webster 1998).

El espectro FTIR de quercetina registró dos bandas características a los 1852 cm^{-1} y 1663 cm^{-1} . La primera de ellas se asoció con el patrón de di-sustitución en posición orto del anillo B, la cual es más notable en quercetina que en otros flavonoides, por la alta conjugación de esta molécula ya que posee un doble enlace entre el carbono 2 (C2) y carbono 3 (C3) en el anillo C que se extiende hasta el anillo B. La segunda banda representó el estiramiento del grupo C=O del anillo C presente en todos los flavonoles (Castro, 2013).

El espectro FTIR del ácido gálico, en la región de los 1689 cm^{-1} , se observó una banda bien definida que se atribuye a los estiramientos del grupo C=O que forma parte del grupo carboxilo (OH–C=O). Este modo de vibración a esa magnitud de frecuencia es distintivo de los ácidos fenólicos (Carmelo, 2015)

Alrededor de los 1600 cm^{-1} , se observó un modo de vibración representativo de los compuestos fenólicos que surge del acoplamiento de los estiramientos de los grupos aromáticos C=C y C–O con los balanceos o flexiones de los grupos O–H (Silverstein y Webster, 1998). Las bandas correspondientes a estas vibraciones acopladas, se localizaron a 1616 cm^{-1} en el espectro FTIR del ácido gálico, a 1660 cm^{-1} en (+)-catequina y quercetina y 1626 cm^{-1} en la procianidina.

La región distintiva de las procianidinas esta descrita por tres picos que generalmente fluctúan entre los $1330 - 1170 \text{ cm}^{-1}$ (Passos *et al.*, 2010) y en el espectro FTIR generado para el estándar de procianidina en este estudio, se localizaron a 1322 cm^{-1} , 1284 cm^{-1} y 1165 cm^{-1} . Estas frecuencias se asocian con estiramientos C–O y C–C principalmente.

(+)-Catequina mostró en su espectro FTIR sus dos bandas distintivas de 1030 cm^{-1} y 820 cm^{-1} , las cuales evidenciaron su configuración 2,3-trans en la posición del anillo B respecto al grupo 3-OH (Castro, 2013).

En el espectro FTIR de D-fructosa su banda más característica fue a 1054 cm^{-1} , que corresponde a flexiones del grupo C-O y estiramientos del grupo C-O-H. En D-glucosa la banda distintiva se observó a 1028 cm^{-1} y representa estiramientos del grupo C-O y flexiones del grupo C-O-H. Mondragón (2020) señala que una banda importante para distinguir entre D-fructosa y D-glucosa es la correspondiente a los estiramientos C-C de la piranosa, la cual se localiza a 920 cm^{-1} y a 916 cm^{-1} , respectivamente.

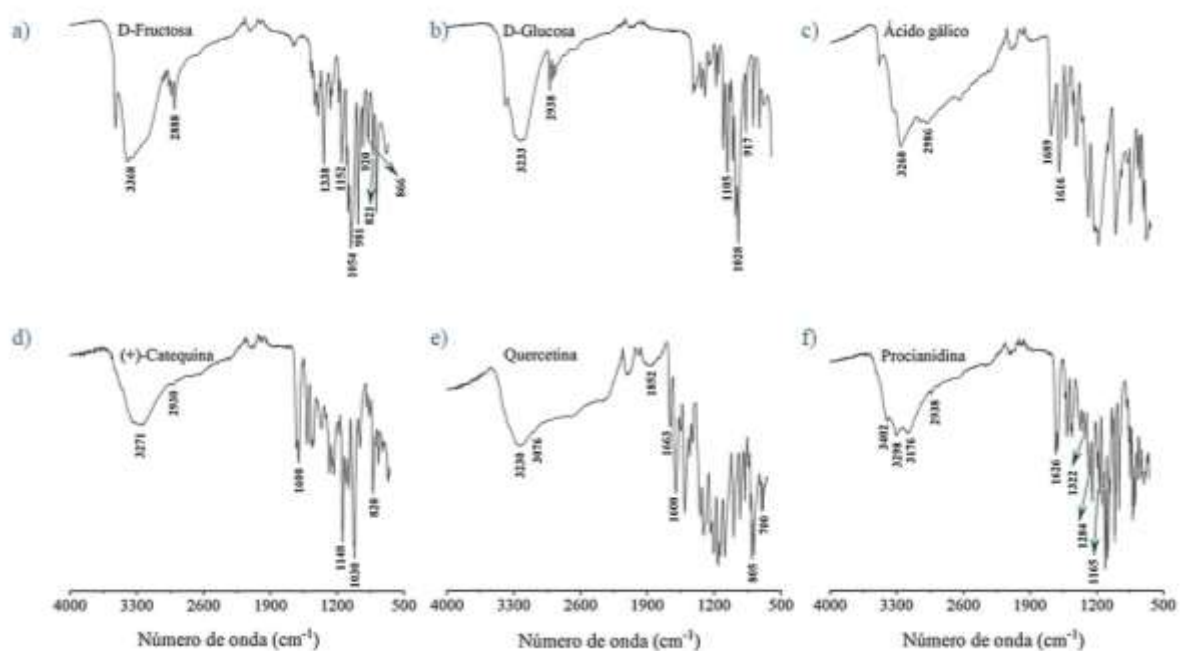


Figura 11. FIR de estándar. D-Fructosa (a), D-Glucosa (b), Ácido gálico (c), (+) Catequina (d), Quercetina (e), y Procianidina (f).

En los espectros FTIR mostrados en la figura 14 y figura 15, se detectaron claramente las bandas correspondientes a los estiramientos de los grupos O-H y C-H alrededor de los 3200 cm^{-1} y 2900 cm^{-1} , respectivamente. También se observó en todos los tratamientos una

banda ancha en el rango de $1710 - 1526 \text{ cm}^{-1}$, con máxima intensidad a los 1598 cm^{-1} , en la cual se asume que se traslapan los modos vibracionales relacionados con el estiramiento del grupo C=O del anillo C presente en los flavonoles, así como los estiramientos del grupo C=O que forma parte del grupo carboxilo (OH-C=O) de los ácidos fenólicos. Adicionalmente, esta banda incluye los estiramientos acoplados de los grupos aromáticos C=C y C-O con las flexiones de los grupos O-H, representativos de todos los compuestos fenólicos.

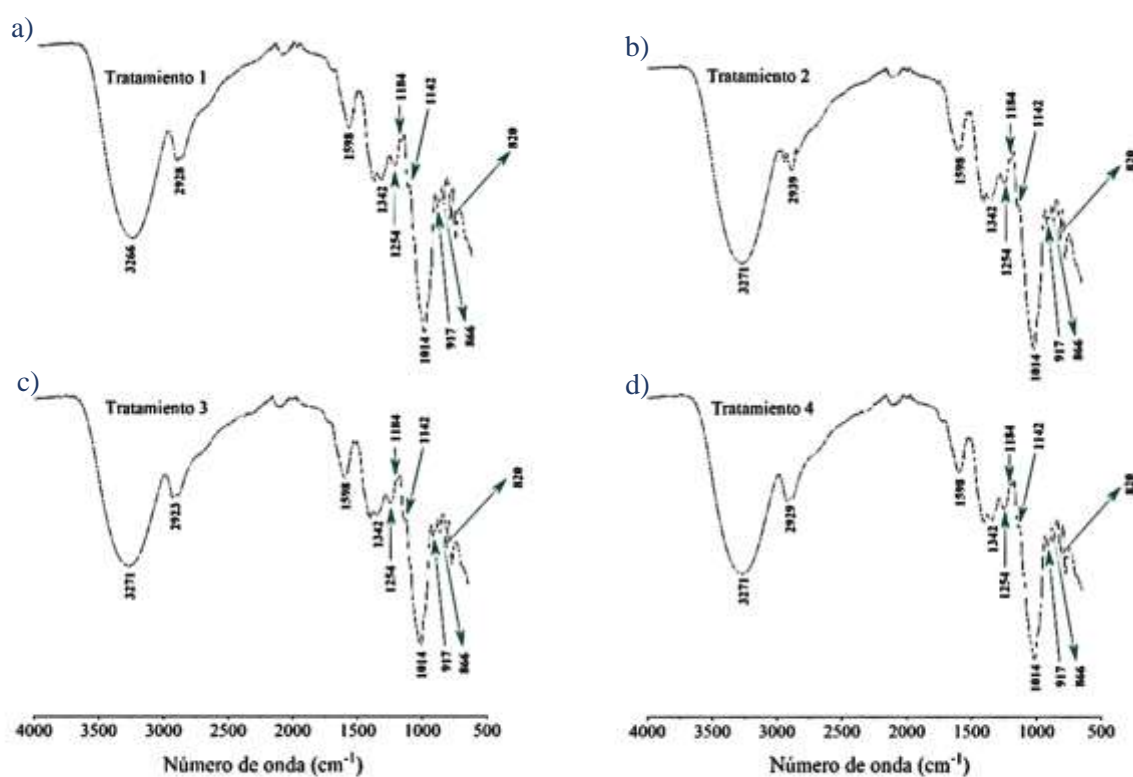


Figura 12. FIR de muestras de higo variedad Brown Turkey, a) Tratamiento 1, b) Tratamiento 2, c) Tratamiento 3, d) Tratamiento 4.

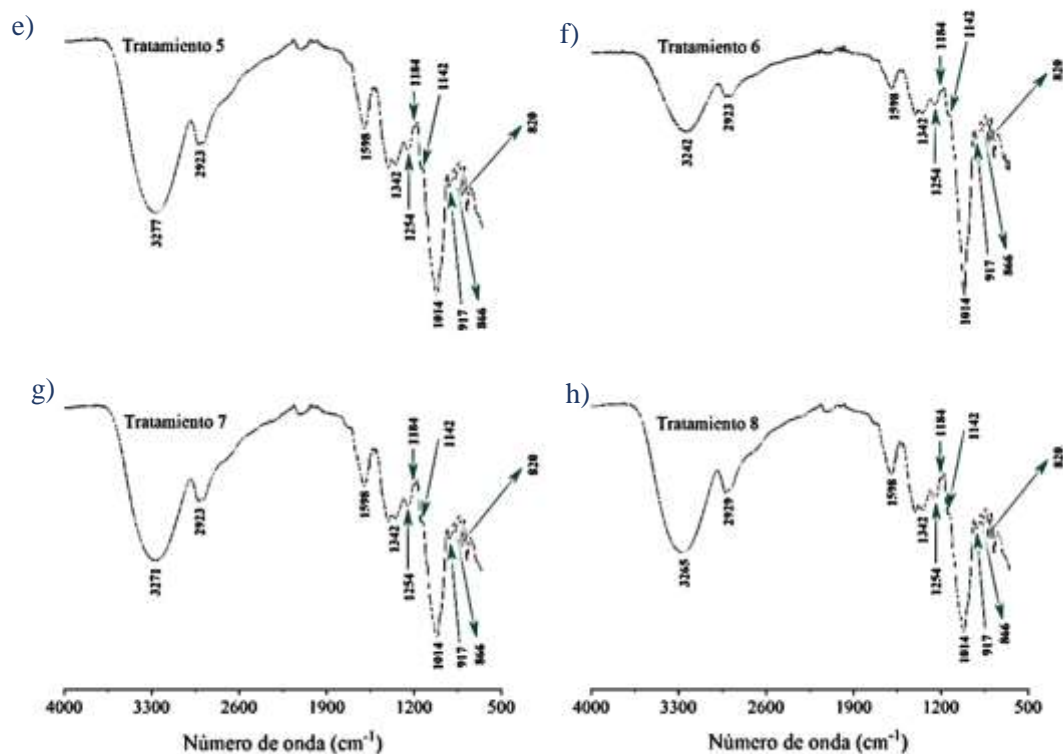


Figura 13. FIR de muestras de higo genotipo Netzahualcóyotl, e) Tratamiento 5, f) Tratamiento 6, g) Tratamiento 7, h) Tratamiento 8.

Los tres picos distintivos de las procianidinas se encontraron localizados puntualmente, a los 1342 cm^{-1} , 1254 cm^{-1} y 1184 cm^{-1} en todos los tratamientos. Cabe destacar que estos tres picos mostraron mayor desplazamiento en la región de frecuencias, fueron más anchos y de menor intensidad que los registrados en el espectro FTIR del estándar de procianidina, lo cual se considera justificable porque en las muestras existe mayor concentración y diferentes tipos de procianidinas.

Todos los tratamientos presentaron una banda ancha e intensa en el rango de frecuencias de $1173 - 933\text{ cm}^{-1}$, con máxima intensidad a los 1014 cm^{-1} . Esta banda traslapa los modos vibracionales del flavonoide (+)-catequina (1030 cm^{-1}), con los azúcares D-fructosa (1054 cm^{-1}) y D-glucosa (1028 cm^{-1}). El desplazamiento hacia los 1014 cm^{-1}

sugiere que el azúcar predominante es la D-glucosa. Es importante destacar que, aunque en este estudio no se incluyó algún estándar de las antocianinas, otros estudios reportan que la señal más intensa y característica de estas, se identifica entre los 1100 – 1000 cm^{-1} y se atribuye a los modos vibracionales del heteroátomo de oxígeno del anillo C, el cual proporciona una carga parcialmente positiva a las antocianinas, que las distingue del resto de flavonoides (Ramirez-Cabrera, 2022). Así mismo, en los ocho tratamientos se observaron las bandas de 917 cm^{-1} y 820 cm^{-1} , que confirman la presencia de D-glucosa y el flavonoide (+)-catequina, respectivamente.

VII. CONCLUSIONES

La poda de tallo y rama afecta el desarrollo de las plantas de higo Brown Turkey y Netzahualcóyotl.

Un tallo con menor altura propicia una velocidad de crecimiento mayor en ramas.

El número de hojas por rama es mayor con la menor altura de tallo y mayor longitud de rama.

El desarrollo fisiológico de plantas de higo Netzahualcóyotl es más rápido al requerir menor cantidad de calor (grados días de desarrollo acumulado).

La poda de tallo y rama afecta el desarrollo de las infrutescencias de higo.

La poda del tallo a 25 cm de altura y poda de rama a 80 cm de longitud en Brown Turkey favorece la producción de infrutescencias con mayor diámetro ecuatorial, contenido de ácidos orgánicos, fenoles totales, procianidinas, que atribuyen su capacidad para inhibir el radical DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazilo) y quelación de cobre.

La poda del tallo a 25 cm de altura y poda de rama a 80cm de longitud en Netzahualcóyotl favorece la producción de infrutescencias con mayor diámetro polar, diámetro ecuatorial, firmeza, sólidos solubles totales, pH y ácidos orgánicos, que demuestran su poder reductor e inhibir la peroxidación lipídica a temperaturas de 40 °C.

Cianidina-3-rutinosido es la antocianina que podría tener las mejores propiedades antioxidantes en las infrutescencias de higo, de acuerdo a las variables computacionales analizadas.

El higo presenta flavonoles, procianidinas y como azúcar predominante la D-glucosa.

VIII. LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition. Arlington, Virginia, USA.
- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemist). 1998. Official Methods of Analysis. 15th Edition. Washington D.C, USA.
- Acuna B. 2020. Spruce Up Summer Eating with Figs from California.las the places. En línea: <https://lastheplace.com/2020/08/26/spruce-up-summer-eating-with-figs-from-california/>. Consultado: 05/06/2024.
- Adiel J. 2010. El higo. En línea: Taxonomía <http://adielcg.blogspot.com/2010/06/taxonomia.html> Consultado: 11/05/2023.
- Aiyer H. S.; Warri A. M; Woode D.R.; HilakiviClarke L.; Clarke, R. 2012. Influence of berry polyphenols on receptor signaling and cell-death pathways: implications for breast cancer prevention. *J. Agric. Química de alimentos* 60 (23): 5693- 5708.
- Aljane F.; Neily M.H.; Msaddak A. 2020. Phytochemical characteristics and antioxidant activity of several fig (*Ficus carica* L.) ecotypes. *Ital. J. Food Sci.* 32: 755–768.
- Álvarez N.; Bagué A. 2012. Extracción de drogas. *Tecnología Farmacéutica*. 1. Club Universitario.
- Bachir B. M.; Louaileche. 2015. A comparative study of phytochemical profile and in vitro antioxidant activities of dark and light dried fig (*Ficus carica* L.) varieties. *The Journal of Phytopharmacology* 4(1): 41-48.
- Bandala D. I.A.; Domínguez P.L.A.; Morales F. S.D.; Vazquez C.F.; Flores E.B. 2022. Desarrollo fenológico de cinco variedades de higo (*Ficus carica* L.) Bajo condiciones de invernadero. En Línea: https://www.riego.mx/congresos/comeii2022/assets/docs/ProtPonencias/PDF_Extenso/22027_Ianira%20Amalia_extenso.pdf. Consultado: 11/02/2025.

- Barrios D. J. M.; Emicete S. S.; Barrios D. B.; Pérez M. G. J.; Zaldivar M. P. 2022. Acumulacion de grados- día de desarrollo en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tipo batavia en invernadero. In: VII. Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas. 2022: 1-8.
- Bizberg A. 2014. La carrera de la vida : Una historia de amor y tradición. Cienciorama. En línea: <http://medomed.org/2014/the-figs-of-malaga/>. Consultado: 15/02/2023.
- Bradish C. M.; PerkinsVeazie P.; Fernández G. E.; Xie G.; Jia, W. 2011. Comparison of flavonoid composition of red raspberries (*Rubus idaeus* L.) grown in the southern United States. *Journal of agricultural and food chemistry* 60 (23): 1021.
- Broadhurst R. B.; Jones W. T. 1978. Analysis of Condensed Tannins Using Acidified Vanillin. *J. Sci. Fd Agric.* 29: 788-794.
- Caliskan O.; Polat A. A. 2011. Investigation by subjective and objective methods of fruit coloring in fig (*Ficus carica* L.). *International Horticultural Congress.Turquia* 6: 758–764.
- Campoverde M.; Jiménez J.; Zamora G.; Mariscal S. 2022. Antioxidantes y química computacional. *Reciamuc; Editorial: Saberes del conocimiento* 6 (3): 387-398.
- Cárdenas N.; López P.; Lobit, P. 2019. Efecto de la época de aplicación del N y período de cosecha en la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). *Scientia Agropecuaria* 10(3): 337-345.
- Carmelo L. F. J. 2015. Caracterización teórico-experimental de la estructura y propiedades antirradicales en procianidinas aisladas de salvado de sorgo café. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- Casierra P.; Fischer G. 2012. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Poda de árboles frutales. *Produmedios, Bogotá*.
- Castro A. S. I. 2013. Caracterización espectroscópica y computacional de procianidinas de manzana y sus productos de oxidación en la reacción con radicales libres. Tesis de

- maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. CIAD, Hermosillo, Sonora.
- Catraró A. 2014. El cultivo de la Higuera: producción de higos y su deshidratación como método para el agregado de valor del producto. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina. 45 p.
- Chaparro P.; Márquez A.; Sánchez P.; Vargas L.; Gil H. 2015. Extracción de pectina del fruto del higo (*Opuntia ficus indica*) y su aplicación en un dulce de piña. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 435-443.
- Ciarmiello L.P.; Piccirillo, P.; Carillo P.; De Luca A.; 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.
- Costa C. A. 2022. El cultivo de la higuera en el campo de Albaterra. Editorial Nobel. 200 p.
- Crisosto C.H.; Bremer V.; Ferguson L.; 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.
- Crisosto H. C.; Mitcham J. E.; Kader A. A. 2013. Higo. Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha., University of California, Department of Plant Sciences. En línea: <https://postharvest.ucdavis.edu/es/produce-facts-sheets/higo>. Consultado: 23/04/2024.
- Cruz A. O. 2018. Frigoconservación poscosecha y atmósferas modificadas en higo (*Ficus carica* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Instituto de Horticultura.
- Delgado A. 2004. ¿Por qué se enrancian las grasas y aceites? Bogotá, Colombia. Fedepalmas 25 (2): 35-43.

- Duan X.; Jiang Y.; Su X.; Zhang Z.; Shi J. 2007. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn). Fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chemistry* 101: 1365-1371.
- Eberhardt M. V.; Lee C. Y.; Liu R. H. 2000. Antioxidant activity of fresh apples. *Nature* 405: 903-904.
- El Hajj S.; Irankunda R.; Echavarría J.A.C.; Arnoux P.; Paris C.; Stefan L.; Gaucher C.; Boschi-Muller S.; Canabady-Rochelle L. 2023. Metal-chelating activity of soy and pea protein hydrolysates obtained after different enzymatic treatments from protein isolates. *Food Chemistry* 405(134788): 1–8.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. Índices de producción. En línea: <https://www.fao.org/statistics/es>. Consultado: 04/06/2024.
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Cultivos y productos de ganadería. En línea: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>. Consultado: 04/06/2024.
- Fawzy R. M. 2023. Fig (*Ficus carica*): Production, Processing, and Properties. Makkan, Saudi Arabia. Editorial Springer. 811 p.
- Fernández L.; Pinent M.; Bladé M.C.; Salvadó M.; Blay G.; Pujadas G.; Ardévol A.; Arola L. 2007. Alimentos ricos en procianidinas, alimentación funcional para prevenir la aparición de síndrome metabólico. *Revista española de obesidad* 5 (2): 98-108.
- Fischer G.; J.O.; Orduz-Rodríguez. 2012. Ecofisiología en frutales. In: Manual para el cultivo de frutales en el trópico. (ed). Primera edición. Bogotá, Colombia. pp: 54-72.
- Flores D.A. 1990. La Higuera. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 190p.
- Flores M. D.; Jiménez B. V. 2007. Desarrollo del cultivo de higo para consumo fresco y procesado, como una alternativa de diversificación para el sector agrícola. En línea:

- línea. <http://frutales.files.wordpress.com/2011/01/h-04-desarrollo-del-cultivo-del-higo1.pdf>. Consultado: 07/03/2023.
- Foresman J. B. y Frisch A. E. (1996). Exploring chemistry with electronic structure methods. Gaussian, Inc.: Second edition. U.S.A. 3-301.
- Frankel E. N.; Meyer A. S. 2000. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 8: 1925–1941.
- Freudenberg K.; Weinges K. 1961. Pro- anthocyanidine aus den fruchten des weibdorns (*crataegus oxyacantha*). *Tetrahedron Letters* 2(8): 267-269.
- Frisch M.J., Trucks, G.W., Schlegel H.B., Scuseria G.E., et al. Gaussian 09 Revision A.1, Gaussian Inc., Wallingford CT, 2009.
- Gaaliche B.; Trad M.; Mars M. 2011. Effect of pollination intensity, frequency and pollen source on fig (*Ficus carica* L.) productivity and fruit quality. *Scientia Horticulturae* 130 (4): 737- 742.
- García G.C.; Rodríguez M. P. D. 2012. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai* 8(3): 41-49.
- Gariglio N.; Favaro J. C.; Forte R. 2013. Higuera. Material Didáctico Curso: Cultivo de Frutales I. Especialización en Cultivos Intensivos. FCA. UNL. Esperanza Santa Fe, Argentina.
- Garro A. J. E. 2016. El suelo y los abonos orgánicos. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. San José, Costa Rica. 106 p.
- Gimeno C. E. 2004. Compuestos fenólicos, un análisis de sus beneficios para la salud. *OFFARM*. 23 (6): 80-84.
- Giusti M. M.; Wrolstad R. E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by uv-visible spectroscopy. Unit F1.2. In: R.E, Wrolstad, S.J, Schwartz, editors. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. pp: 19–31.

- Gonzalez U. P. 2019. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. En línea: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf. Consultado: 22/11/2024.
- González-Torres M. C.; Betancourt-Rule M.; Ortiz-Muñiz R. 2000. Daño oxidativo y antioxidantes. *Bioquímica* 25 (1): 3-9.
- Gutiérrez L. J. L.; Martínez M. M.; Navarro S. L.; Niembro G. C. A. 2014. El cultivo de higo *Ficus carica* L. Editorial: Parentalia. Primera Edición. UAEM, Zumpango, Edo. de México, México. 81 p.
- Gutiérrez-Grijalva E.P.; Ambriz-Pere D.L.; Leyva-López N.; Castillo-López R.I.; Heiedia J. B. 2016. Review: dietary phenolic compounds, health benefits and bioaccessibility. *Arch Latinoam Nutr.* 66(2): 87-100.
- Halliwell B. 1997. Antioxidants and human disease: a general instruction. *Nutrition reviews* 55 (1): 44-49.
- Harrison J. N. 1990. Propagation techniques. *Earth production, Florida* 15(8): 53- 54.
- Harzallah A.; Mnari B.; Amri Z.; Soltana H.; Hammami M. 2016. Phytochemical content and antioxidant activity of different fruit partsjuices of three figs (*Ficus carica* L.) varieties grown in Tunisia. *Industrial Crops and Products* 83: 255–267.
- Hümmer W.; Schreier P. 2008. Analysis of Proanthocyanidins. *Molecular Nutrition & Food Research* 52 (12): 1381–1398.
- Hydro environment. 2023. Guía cultivo del higo. En línea: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=466. Consultado: 19/12/2024.
- IFA (Asociacion Internacional de la Industria de los Fertilizantes). 1992. Los fertilizantes y su uso. En línea: <http://www.fertilizer.org> Consultado: 16/05/2023.

- Igbinosa O. O.; Igbinosa I. H.; Chigor V. N.; Uzunugbe O.E.; Oyedemi S. O.; Odjadjare E. E.; Okoh A. I.; Igbinosa E. O. 2011. Polyphenolic Contents and Antioxidant Potential of Stem Bark Extracts from *Jatropha curcas* (Linn) Int. J. Mol. Sci. 12: 2958-2971.
- Iglesias M. L. 1995. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Secretaria General de Estructuras Agrarias. Gatafe, Madrid.
- INCAP. (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). 2012. Tabla de composición de alimentos de Centro América. Serviprensa, S.A. Guatemala. 128 p.
- INECOL (Instituto de Ecología). 2023. ¿Qué hay dentro un higo? Descubre la fascinante relación entre higos y avispas. En línea: https://www.inecol.mx/?fbclid=IwY2xjawIw0sllleHRuA2FlbQIxMAABHd9cCCa7bzhxhFdyigbTJC85nzF0PSevUHpNRBux8dzpU91YxevXzQ_aem_yfM0y20Uz3pVw7Hb_pc_EQ. Consultado:06/02/2024.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Aspectos geográficos, Puebla. En línea: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_21.pdf. Consultado: 03/04/2024.
- InfoAgro. 2020. Aspectos claves de la producción de higo. En línea: <https://mexico.infoagro.com/aspectos-claves-en-la-produccion-de-higo/> Consultado: 23/02/2023.
- InfoAgro. 2021. Cultivo de higo en México. Principales requerimientos del cultivo. 28. pp: 35.
- Iriondo J.M. 2000. Taxonomía y conservación: dos aproximaciones a un mismo dilema. Universidad Politécnica de Madrid 19: 1-17.
- Izarra W.; López F. 2014. Manual de observaciones fenológicas. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. En línea:

- http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/manual_fenologico.pdf .Consultado: 07/03/2023.
- Kamas, J.; Nesbitt, M.; Stein, L. 2015. Figs. Extension Fruit Specialists, the Texas A&M AgriLife Extension Service. En línea: https://aggie-horticulture.tamu.edu/fruit-nut/files/2015/04/figs_2015.pdf . Consultado: 19/01/2023.
- Kamiloglu S.; Capanoglu E. 2015. Polyphenol content in figs (*Ficus carica* L.): effect of sun-drying. *International Journal of food properties* 18 (3): 521-535.
- Karamać M. 2009. Chelation of Cu(II), Zn(II), and Fe(II) by Tannin Constituents of Selected Edible Nuts. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 5485-5497.
- Kaume L.; Howard L.R.; Devareddy L.: 2013. The blackberry fruit: a review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits. *Journal of agricultural and food chemistry* 60 (23): 5716- 5743.
- Kehal F.; Chemache L.; Chaalal M.; Benbraham M.; Capanoglu E.; Barkat M. 2021. A comparative analysis of different varietal of fresh and dried figs by in vitro bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant activities. *Sciendo* 25 (1): 15-30.
- Krezdorn.; Adriance. 1984. La higuera, recomendaciones para el cultivo y procesamiento de esta fruta. *Agricultura de las Américas* 8(2): 26-33.
- Ladhari A.; Gaaliche B.; Zarrelli A.; Ghannem M.; Ben Mimoun M. 2020. Allelopathic potential and phenolic allelochemicals discrepancies in *Ficus carica* L. cultivars. *South African Journal of Botany* 130: 30–44.
- Lama K.; Harlev G.; Shafran H.; Peer R.; Flaishman M. A. 2020. Anthocyanin accumulation is initiated by abscisic acid to enhance fruit color during fig (*Ficus carica* L.) ripening. *Journal of Plant Physiology*. En línea: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153192> Consultado: 05/12/2024.

- Lambert J.; Shurvell H.; Lightner D.; Cooks G. 1998. Organic structural spectroscopy. Prentice-Hall, Inc. Towson, Maryland, Estados Unidos.
- Lavín A.; Reyes M. 2004. Higuera (*Ficus carica* L.). Frutales: especies con potencial en el Secano Interior. Boletín INIA No. 120. Ed. Matsuya, Kuni & INIA. Chile. pp: 82-94.
- Leopoldini M.; Marino T.; Russo N.; Toscano M. 2004. Antioxidant Properties of Phenolic Compounds: H-Atom versus Electron Transfer Mechanism. *J. Phys. Chem. A.* 108: 4916-4922.
- Lewars., E. 2003. Computational Chemistry. Introduction to the Theory and Applications of molecular and quantum Mechanics. Kluwer Academic Publishers. First edition. U. S. A. Pp.1-471.
- Li P.; Liu A.; Liu, C.; Qu Z.; Xiao W.; Huang J.; Liu Z.; Zhang S. 2019. Role and mechanism of catechin in skeletal muscle cell differentiation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. En línea: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2019.108225>. Consultado 27/11/2024.
- Lindón N. 2012. Caracterización de dos variedades de higuera (*Ficus carica* L.) cultivadas en las Vegas Media y Baja del Segura. Tesis Doctoral. Universidad Miguel Hernández De Elche. Orihuela.
- Linneo V. C. 1763. *Species plantarum* 2. Pp. 194- 197.
- Macêdo A. da S. D.; Pereira da S.S.N.; de Sousa A. S. E. E.; Alves P. G.; Barbosa da S. J.G., Gomes da C. J. 2022. Effects of formative and production pruning on fig growth, phenology, and production. *Rev. FCA UNCuyo* 54(1): 13-24.
- Marchese de Medeiro. A. 2002. Figueira (*Ficus carica* L.) do Plantio ao Processamento Caseiro. EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria) Climas Templado. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. En línea: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/743511/1/circular35.pdf>. Consultado: 16/05/2023.

- Martin G. 2017. Los compuestos fenólicos un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. En línea: <https://doi.org/10.22490/21456453>. Consultado: 24/09/2024.
- Mateos-Martín M.L. 2013. Relación estructura/actividad de proantocianidinas procedentes de fuentes naturales de origen vegetal. Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona. pp: 15–26.
- Meagher L. P.; Spencer P.; Lane G. A.; Sivakumaran S.; Fraser K. 2005. What do Green Tea, Grapes Seeds, and Docks have in Common? *Chemistry in New Zealand* 69(3): 6.
- Mejía R.; García C.; Velázquez O.; Vázquez O. 2021. Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* 9 (1): 9-33.
- Melgarejo M. 2000. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. I. El medio ecológico, la higuera, el alcaparro y el nopal. AMV Ediciones y Mundi Prensa. Madrid. pp.382.
- Melgarejo M. P. 1999. El cultivo de la higuera (*Ficus carica* L.) IRAGRA, S. A. Madrid.
- Mendoza C. V. 2013. Fisiología y manejo de la higuera (*Ficus carica* L.) en producción forzada bajo cubierta plástica. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Estado de México.
- Mendoza C.V. 2009. Producción intensiva de higo (*Ficus carica* L.) bajo invernadero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 82 p.
- Mendoza P. 2018. Acumulación y absorción de nutrimentos en el cultivo de la higuera *Ficus carica* L. CV Netzahualcóyotl en sistemas de producción intensivos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Estado de México.

- Mendoza-Wilson, A.M. and Glossman-Mitnik., D. 2005. CHIH-DFT Study of the Electronic Properties and Chemical Reactivity of Quercetin. *Journal of Molecular Structure (Techoem)* 716, 67-72.
- Menjivar F.; Enciso M.; Martínez C. 2015. Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (*Cucurbita maxima* var. Unapal-Mandarino). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 6 (1): 185-197.
- Meo F. D. E.; Anouar P.; Podloucka G.; Fabre P. T. 2013. Understanding antioxidant properties of natural compounds at the atomic Scale. *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics* 7: 58-70.
- Meziant L.; Bachir-bey M.; Bensouici Ch.; Saci F.; Boutiche M.; Louaileche H. 2021. Assessment of inhibitory properties of flavonoid-rich fig (*Ficus carica* L.) peel extracts against tyrosinase, α -glucosidase, urease and cholinesterases enzymes, and relationship with antioxidant activity. *European Journal of Integrative Medicine* 43 (101272): 1–15.
- Mondragón C. P. M. 2020. La espectroscopia FTIR-ATR aplicada al análisis de alimentos y bebidas, capítulo 7 en: Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas. Editor CIATEJ. En línea: https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5f89fd7801268.pdf. Consultado: 07/11/2024.
- Morgado G.; Becerril R.; Calderón Z.; García V.; Velazco C.; Alberto V. 2018 Bioestimulantes y nutrimentos foliares en la producción de higo (*Ficus carica* L.) *Café de Turquía. Agroproductividad* 11(9): 15-19.
- Moura E. A.; Andrade A. D.; Mendonça V.; Melo M.F.; Mendonça L. F.; Oliveira L. M.; Alves A. A.; Farias W. C.; Figueiredo F. R. A.; Irineu T. H. S. 2020. Phenological characterisation, termal requirement and production in the selection of pitanga genotypes in semiarid conditions. *Annals of Applied Biology* 177: 16-25.

- Nieto C.; Jarrin P.; Pinto N. 2007. El higo. Manual de producción uso y aprovechamiento. En línea: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/946/1/L-SENESCYT-0070.pdf>. Consultado: 21/01/2023.
- Nievas W.; Villarreal P.; Rodríguez A.; Gómez G. 2021. El cultivo de la higuera (*Ficus carica*). Aspectos ambientales y económicos para el Alto Valle del Río Negro. Ediciones INTA. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- NOM-021-RECNAT-2000 Norma Oficial Mexicana. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Diario Oficial de la Federación. En línea: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002#gsc.tab=0. Consultado: 19/03/2025.
- OCDE. (Organization for Economic Cooperation and Development). 2015. International Standards for Fruit and Vegetables. Fresh figs. En línea: <https://doi.org/10.1787/9789264234086-en-fr>. Consultado: 05/12/2024.
- Ojer M.; Reginato G.; Vallejos F.; Boulet A. 2011. Producción de duraznos para la industria. Poda de formación 8: 79-101.
- Panche A. N.; Diwan A. D.; Chandra S. R. 2016. Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science* 5 (47): 1-15.
- Passos C.; Cardoso S.; Barros A.; Silva C.; Coimbra M. 2010. Application of Fourier transform infrared spectroscopy and orthogonal projections to latent structures/partial least squares regression for estimation of procyanidins average degree of polymerisation. *Analytica Chimica Acta* 661(2): 143-149.
- Pérez J. I. 2017. Cultura científica Árbol sagrado, árbol maldito. En línea: <https://culturacientifica.com/2017/10/22/arbol-sagrado-arbol-maldito/> Consultado: 16/05/2023.
- Pérez P. 2019. Producción y calidad del fruto de higuera bajo dos regímenes de humedad en la región lagunera. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila México.

- Prataviera A. 1990. El cultivo de la higuera. EEA Catamarca, INTA. Catamarca, Argentina.
- Prataviera A.G.; Godoy, R.A. 1985. El cultivo de la higuera. Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuarias, Centro Regional Catamarca, La Rioja. Estación Experimental Agropecuaria Catamarca, Argentina.
- Ramírez-Cabrera E. 2022. Síntesis de hidrogeles biocompatibles a partir de antocianinas químicamente modificadas para la liberación selectiva de fármacos. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. pp. 47–48.
- Ramos O. C. A.; Castro R. A. E.; León M. N. S.; Álvarez S. J. D.; Huerta L. E. 2019. Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana* 37(1): 45-55.
- Ravindra K.; Ganesh S.; Chithiraichelvan R.; Upreti K.K.; Sulladmath V.V. 2014. Effect of spacing and pruning on growth, yield and quality of cv. Deanna fig (*Ficus carica* L.). *J. Hortl. Sci.* 9(1): 31-37.
- Reisser J. C.; Roberto M. A.; Ueno B.; Bauer C.; Scivittaro W.; Medeiros C.; Antunes L.; Couto M. 2008. Irrigação e cobertura do solo em pomares de figueira em transição para o sistema orgânico de produção. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular Técnica 50: 2-4.
- Rodríguez-Mateos A.; Cifuentes-Gómez T.; Tabatabaee S.; Lecras C.; Spencer J.P.E. 2012. Procyanidin, anthocyanin, and chlorogenic acid contents of highbush and lowbush blueberries. *J. Agric. Food Chem.* 60 (23): 5772-5778.
- Rojano B. A.; Gaviria C.A.; Sáez J.A. 2008. Determinación de la actividad antioxidante en un modelo de peroxidación lipídica de mantequilla inhibida por isoespintanol. *Vitae.* Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia 15 (2): 212-218.
- Rudrapal M.; Khairnar S.J.; Khan J.; Dukhyil A.B.; Ansari M.A.; Alomary M.N.; Alshabrmi F.M.; Palai S.; Deb P.K.; Devi R. 2022. Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: insights into protective effects, antioxidant

- potentials and mechanism(s) of action. *Frontiers in Pharmacology* 13 (806470): 1–15.
- Ryugo K. 1988. *Fruit Culture: Its science and art*. University of California Davis. California. Editorial Wiley. New York. Estados Unidos.
- Sanchez M.G.; Pratavia A.; Hernandez E.; Santos S. 2016. Protocolo de calidad para brevas e higos frescos. Ministerio de Agricultura Ganderia y Pesca. Argentina. En línea: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/sello/sistema_protocolos/SAA037_Higos.pdf. Consultado: 18/04/2024.
- Sannigraha S.; Mazuder U. K.; Palc D. K.; Parida S.; Jain S. 2010. Antioxidant Potential of Crude Extract and Different Fractions of *Enhydra fluctuans* Lour. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research* 9 (1): 75-82.
- Sarkhosh A.; Andersen C. 2020. El higo. IFAS Extension. Universidad de Florida. En línea: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/MG459> Consultado: 11/03/2024.
- Seeram N. P.; Nair M. G. 2002. Inhibition of Lipid Peroxidation and Structure-Activity-Related Studies of the Dietary Constituents Anthocyanins, Anthocyanidins, and Catechins. *J. Agric. Food. Chem.* 50: 5308-5312.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).2023. Monografía del cultivo de higo. En línea: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/874025/Higo_monografi_a_2023.pdf. Consultado: 09/01/2025.
- Siebert F., Hildebrandt P. 2008. *Vibrational spectroscopy in life science*. Wiley-VCH Verlag Hmbh & Co. KGaA. First Edition. U.S.A 330p.
- Silva F. S. O.; Pereira E. D. C.; Mendonça V.; Silva R. M. D.; Alves A. A. 2017. Phenology and yield of the ‘roxo de valinhos’ fig cultivar in western potiguar. *Revista Caatinga* 30 (3): 802-810.

- Silva R.H.; Abílio V.C.; Takatsu A.L.; Kameda S.R.; Grassl C.; Chehin A.B.; Medrano, W.A.; Calzavara M.B.; Registro S.; Andersen M.L.; Machado R.B.; Carvalho R.C.; Ribeiro A.; Tufik S.; Frussa-Filho R. 2004. Role of hippocampal oxidative stress in memory deficits induced by sleep deprivation in mice. *Neuropharmacology* 46: 895–903.
- Silverstein R.; Webster F. 1998. Spectrometric identification of organic compounds. *Infrared Spectrometry*. Jhon Wiley Sons Inc. Sixth Edition. USA. pp: 71-143.
- Simpson K. 1986. *Abonos y estiércoles*. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. 98p.
- Solomon A.; Golubowicz S.; Yablowicz Z.; Grossman S.; Bergman M.; Gottlieb H.; Altman A.; Kerem Z.; Flaishman M. 2006. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 7717- 7723.
- Souza M.; Jemni M.; Otón N.; Leonel S.; Melgarejo P.; Artés F. 2013. Caracterización morfológica, química y sensorial de cuatro variedades de brevas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 14(1): 48-52
- Speisky H.; López A.; Gómez M.; Fuentes J.; Sandoval A. 2012. First web based database on total phenolics and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of fruits produced and consumed within the south Andes region of South America. *J Agric Food Chem.* 60(36): 8851-8859.
- Tinco M. E. 2024. Propagación de estacas de higo (*Ficus carica* L.) bajo enraizadores naturales en distintos tiempos de sumersión. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 11 (1): 47-56.
- Triplenlace. 2024. Espectroscopía infrarroja (I): Vibraciones moleculares. En línea: <https://triplenlace.com/2012/12/29/espectroscopia-infrarroja-i-vibraciones-moleculares/>. Consultado:23/10/24.

- Uday S. 2013. Elaboración de un digestivo de higo (*Ficus carica* L.), aprovechando su alto contenido en fibra y cradina (enzima). Tesis de licenciatura. Universidad de Cuenca, Ecuador. Facultad de Ciencia y Tecnología. Cuenca, Ecuador.
- USDA (U.S. Department Agriculture). 2015. USDA's Database for the Proanthocyanidin Content of Selected Foods. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Service. Nutrient Data Laboratory Home. En línea: <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata/flav>. Consultado: 11/11/2024.
- Valentini G.; Arroyo L. 2003. La injertacion en frutales. Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria. Centro Regional de Buenos Aires. En línea: <https://cdn.portalfruticola.com/2016/11/DESCARGA-DE-MANUAL-DE-INJERTOS-FRUTALES.PDF.pdf>. Consultado: 06/06/2023.
- Vallejo F.; Marín J. G.; Tomás-Barberán F. 2012. A phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.). *Journal Food Chemistry* 130: 485-492.
- Vander M.; Francisco S.O. S.; Anderson A. A.; Elânia G.P.M.; Elizangela C. Dos S.; Wagner C. F.; Eduardo C. 2021. Agronomic performance of fig plants grown with different numbers of branches. *Int. J. Agric. Nat. Resour* 48(1):14-20.
- Veberic R.; Mikulic-Petkovsek M. 2016. Phytochemical composition of common fig (*Ficus carica* L.) cultivars, Capitulo 11, en: *Nutritional composition of fruit cultivars*. Editado por Simmonds, M.S.J.; Preedy, V.R. Editorial Academic Press. pp: 235–255.
- Velioglu Y.S.; Mazza G.; Gao L.; Oomah B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 4113–4117.
- Xu B.J.; Chang S.K.C. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J Food Sci.* 72(2): S159-66.
- Young D. 2001. A practical guide for applying techniques for the real world problems. *Computational Chemistry* 3ra Edition. 408 p.

Zaragoza P. Y. 2015. Parámetros de calidad y compuestos antioxidantes en siconos de higo (*Ficus carica* L.). Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo. De México.



Oficio No. FCAyP/172/2025

Itzel Ochoa Viveros
Egresada del Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Con base en el dictamen emitido por la Dra. Delia Moreno Velázquez (**Directora de Tesis**), Dra. Ana María Mendoza Wilson (**Codirectora**), Dra. Estrella Lara Cortes (**Asesora**) y Dr. Armando Ibáñez Martínez (**Asesor**) en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la elaboración digital de la tesis titulada:

Poda y abono orgánico en la calidad de *Ficus carica*, producido bajo invernadero

Correspondiente a la Maestría en Recursos Fitogenéticos Potenciales para la Agricultura.

Sin otro particular por el momento, me despido reiterando a Usted mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

San Juan Acateno, Teziutlán, Pue., a 29 de Abril de 2025.

Dr. Armando Ibáñez Martínez

Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias



c.c.p. - Archivo y Minutario
 Dr. AIM/mlsm