

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UAEM), por proporcionar los espacios necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por proporcionarme una beca para facilitar los estudios de maestría.

Al Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres, por la dirección de este proyecto, por todo el conocimiento transmitido. Por su apoyo, por su paciencia, su generosidad, su entusiasmo y por toda la confianza brindada. Pero sobre todo por ser un excelente investigador, y ser humano.

Al Dr. Samuel Enoch Estrada Soto, por su apoyo, asesoría y orientación en este trabajo.

Al comité tutorial: Dra. María Andrade Rodríguez, Dr. Manuel de Jesús Sainz Aispuro, Dr. Héctor Sotelo Nava y a la Dra. Irene de la Concepción Perea Arango por sus sugerencias, por todo el conocimiento transmitido, por su apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo.

A la Dra. María Andrade Rodríguez y a la Dra. Irene Perea Arango por su interés, cercanía y apoyo en todo momento desde el inicio de este proyecto hasta el término. Gracias por su apoyo, su confianza, por todo el conocimiento transmitido.

A mis compañeros el M.C. Miguel Felipe Medellín Muñoz, M.C. Evelia Fajardo Rebollar y M.C. Sergio Luna Lugo por su asesoría, apoyo y acompañamiento durante la maestría.

A mis familiares y amigos, gracias por su apoyo, comprensión y consejo, a la Ing. Anahí Capistrán Martínez por todo su apoyo y amistad. A mi esposo por involucrarse en este proyecto por todo su conocimiento aportado, por su apoyo. Y especialmente gracias a mi hija por toda su paciencia durante mi ausencia y por ser mi motor todos los días.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice de cuadros	ii
Índice de figuras	iii
RESUMEN.....	iv
Summary	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 TAXONOMÍA.....	3
2.2 ORIGEN	3
2.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	4
2.4 HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN.....	5
2.5 REQUERIMIENTOS AGRONÓMICOS.....	6
2.6 MODO DE PREPARACIÓN.....	8
2.7 ANTECEDENTES FARMACOLÓGICOS.....	9
3. BIBLIOGRAFÍA.....	13
4. CRECIMIENTO VEGETATIVO DE TORONJIL MORADO (<i>Agastache mexicana</i> ssp. <i>mexicana</i>) EN RESPUESTA AL pH Y CONCENTRACIÓN DE HIERRO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	19
RESUMEN.....	19
SUMMARY	20
4.3 INTRODUCCIÓN	21
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.6 BIBLIOGRAFÍA	31
5. CRECIMIENTO VEGETATIVO DE TORONJIL MORADO (<i>Agastache mexicana</i> ssp. <i>mexicana</i>) EN RESPUESTA A LA CONCENTRACIÓN IÓNICA TOTAL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	37
RESUMEN.....	37
SUMMARY	38
5.3 INTRODUCCIÓN	39
5.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
5.6 BIBLIOGRAFÍA	48
6. PERSPECTIVAS	53

Índice de cuadros

Página

Cuadro 1. Clasificación de algunos grupos climáticos donde crece el toronjil morado.....	6
Cuadro 2. Efecto del pH de la solución nutritiva en el diámetro de tallo y acumulación de materia seca de raíz de toronjil morado producido en contenedor bajo cubierta plástica.....	27
Cuadro 3. Efecto de la interacción del pH y la concentración de Fe ²⁺ de la solución nutritiva en el área foliar, acumulación de materia seca en hojas y partición de materia seca en raíz y hojas de toronjil morado producido en contenedor bajo cubierta plástica.....	29
Cuadro 4. Concentración iónica total de la solución nutritiva para la producción de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica.....	42
Cuadro 5. Respuesta del toronjil morado a la concentración iónica total de la solución nutritiva en contenedor bajo cubierta plástica.....	44
Cuadro 6. Producción y partición de materia seca de plantas de toronjil morado en respuesta a la concentración iónica total de la solución nutritiva.....	46

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Toronjil morado (<i>Agastache mexicana</i> ssp. <i>mexicana</i>).....	5
Figura 2. Figura 2. Porcentaje de materia seca destinada al tallo de toronjil morado por efecto del Fe ²⁺ , producido en contenedor bajo cubierta plástica.....	28
Figura 3. Crecimiento de plantas madre para experimentos.....	36
Figura 4. Presencia de plagas en el cultivo de toronjil morado bajo invernadero.....	36
Figura 5. Desarrollo experimento 1.....	36
Figura 6. Área foliar obtenida bajo diferentes concentraciones de la SNU (Steiner 1984), en toronjil morado producido en contenedor bajo cubierta plástica.....	46
Figura 7. Crecimiento del toronjil una semana después del trasplante.....	51
Figura 8. Apariencia de los tratamientos.....	51
Figura 9. Crecimiento de las plantas de toronjil debido a los tratamientos.....	52
Figura 10. Plantas nutridas con 160 % de concentración iónica total.....	52

RESUMEN

Agastache mexicana ssp. *mexicana* es una planta aromática y medicinal que contiene una gran variedad de metabolitos secundarios, por lo que es ampliamente utilizada en la medicina tradicional para el tratamiento de diversas enfermedades. Se obtiene de su hábitat natural lo que contribuye a su extinción, además se desconocen sus requerimientos agronómicos por lo cual se cultiva de manera empírica, trayendo como consecuencia un crecimiento heterogéneo, bajos rendimientos y pudriciones de raíz. Por lo tanto, se realizaron dos experimentos con la finalidad de favorecer el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca en toronjil morado producido en contenedor bajo cubierta plástica. En ambos experimentos se usaron esquejes enraizados obtenidos de plantas madre generadas a partir de una planta proveniente de semilla. En el primer experimento se evaluó el efecto conjunto del pH (5.5 ± 0.1 , 6.0 ± 0.1 , 6.5 ± 0.1) y la concentración de Fe^{2+} (5, 7, 9 mg L⁻¹). Los resultados indicaron que en la producción de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica es importante considerar la interacción entre el pH y la concentración de Fe^{2+} en la solución nutritiva puesto que afectó significativamente el área foliar, la materia seca de las hojas y modificó la partición de la materia seca entre la raíz, el tallo y las hojas. En el segundo experimento se evaluaron las concentraciones iónicas totales: 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160 %. La solución nutritiva universal (Steiner, 1984) fue la base para las modificaciones. Se concluyó que es importante considerar la concentración iónica total de la solución nutritiva debido a su influencia tanto en el crecimiento vegetativo como en la producción y partición de la materia seca.

Palabras clave: solución nutritiva universal Steiner, planta medicinal, sustrato, contenedor, concentración iónica total.

Summary

Agastache mexicana ssp. *mexicana* is an aromatic and medicinal plant that contains a wide variety of secondary metabolites, which is widely used for the treatment of several diseases on traditional medicine. It is obtained from its natural habitat which contributes to its extinction, in addition its agronomic requirements are unknown, so it is cultivated empirically, resulting in heterogeneous growth, low yields and root rots. Therefore, the aim of current investigation was to carry out two experiments to favor vegetative growth and the production of dry matter in toronjil morado; both produced in a container under plastic cover. In both experiments, rooted cuttings obtained from mother plants generated from a plant originating from seeds were used. In the first experiment, was studied the effect of pH (5.5 ± 0.1 , 6.0 ± 0.1 , 6.5 ± 0.1) and Fe^{2+} concentrations (5, 7, 9 mg L^{-1}) of the nutrient solution. The results indicated that in the production of toronjil morado in a container under plastic cover, it is important to consider the interaction between the pH and the concentration of Fe^{2+} in the nutrient solution since it significantly affected the foliar area, the dry matter of the leaves and modified the partition of the dry matter between the root, the stem and the leaves. In the second experiment, the total ionic concentrations were evaluated: 40, 60, 80, 100, 120, 140 and 160 %. The universal nutrient solution (Steiner, 1984) was the basis for the modifications. It was concluded that it is important to consider the total ionic concentration of the nutrient solution due to its influence both on vegetative growth and on the production and distribution of dry matter.

Key words: universal nutrient solution Steiner, medicinal plant, substrate, container, total ionic concentration.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas medicinales han demostrado históricamente su valor como fuente de moléculas con potencial terapéutico y, en la actualidad, siguen representando un grupo importante para la identificación y obtención de nuevos fármacos (Atanasov *et al.*, 2015).

Una especie vegetal utilizada ampliamente en la medicina tradicional mexicana es *Agastache mexicana* ssp. *mexicana*, conocida comúnmente como: toronjil morado, olotillo, abejera y melisa. En el estado de Morelos se usa como antiespasmódico, ansiolítico para problemas de digestión dolor de cabeza, vómito, piquete de alacrán, mal de ojo, presión elevada, entre otros (Monroy-Ortiz y Castillo-España, 2007). Algunas de sus propiedades medicinales se le atribuyen a la presencia de metabolitos secundarios como tilianina, apigenina, acetina, quercetina, ácido ursólico y ácido oleanólico (Hernández-Abreu *et al.*, 2009; Tuan *et al.*, 2012; Carmona-Castro *et al.*, 2019). Esta especie crece de forma silvestre en bosques de pino-encino. En poblaciones de plantas cultivadas se ha observado que el toronjil morado es muy sensible a enfermedades fungosas, pero no todas las plantas son atacadas con la misma intensidad; el método de cultivo es muy rudimentario, generalmente por división de rizoma y siembra en surcos (Chávez, 1984; Jasso-Chaverría, 2008; Carrillo-Galván *et al.*, 2020). Los estudios realizados en esta especie en su mayoría son fitoquímicos y farmacológicos para conocer el perfil químico de la especie, corroborar sus usos medicinales y su mecanismo de acción. Estudios agronómicos han sido reportados en especies extranjeras de *Agastache*, como *A. rugosa*, *A. foeniculum* o *A. anisata* (Omidbaigi y Mahmoodi 2010; Kayani *et al.*, 2013; Moharami *et al.*, 2014). En este sentido, dada la importancia de esta especie surge la necesidad de desarrollar estudios agronómicos para conocer su demanda nutrimental y así aumentar su rendimiento.

Steiner (1984) indica que las concentraciones de los nutrientes requeridos para satisfacer las demandas internas de las plantas difieren de acuerdo con la especie, etapa fenológica, y del ambiente físico en que se desarrolla la planta, el cual afecta la tasa de absorción y la distribución de nutrimentos dentro de la misma, además de la tasa de crecimiento. La solución nutritiva es parte fundamental para la nutrición de los cultivos y de ella depende la magnitud y

calidad de la producción (Lara, 2000). Las características de la solución nutritiva que más influencia tienen en el crecimiento, rendimiento y calidad de los productos vegetales son: la relación mutua de aniones y de cationes, la concentración iónica total, la conductividad eléctrica y el pH (Steiner, 1984).

Actualmente no se ha reportado el manejo del intervalo específico de pH y Fe^{2+} en la solución nutritiva así como la concentración iónica total de la solución que favorezca la producción de *A. mexicana* ssp. *mexicana*. Por lo tanto, con la finalidad de favorecer el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca en *A. mexicana* ssp. *mexicana* producida en contenedor bajo cubierta plástica se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo general

Realizar estudios de nutrición mineral en toronjil morado (*Agastache mexicana* ssp. *mexicana*) con la finalidad de favorecer el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca, en contenedor bajo cubierta plástica.

Objetivos particulares

- Evaluar el efecto conjunto del pH y la concentración de Fe^{2+} de la solución nutritiva universal (Steiner, 1984) sobre el crecimiento vegetativo de toronjil morado.
- Definir la concentración iónica total de la solución nutritiva que promueva el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca de toronjil morado.

Hipótesis

- El pH de la solución nutritiva y la concentración de hierro modifican el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca de toronjil morado.
- La concentración iónica total de la solución nutritiva altera el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca de toronjil morado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 TAXONOMÍA

Agastache mexicana fue descrita por (Kunth) Lint & Epling y publicado en *American Midland Naturalist* 33: 227.1945.

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Subfamilia: Nepetoideae

Tribu: Mentheae

Género: *Agastache*

Especie: *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (Kunth) Lint & Epling

2.2 ORIGEN

La primera mención escrita de *A. mexicana* con el nombre náhuatl *tlalahuehuatl* ocurrió en el siglo XVI (1552) cuando se registró en *Libellus de medicinalibus indorum herbis* (Codex de la Cruz-Badiano), uno de los manuscritos más antiguos de plantas medicinales mexicanas; su savia se aplicaba para sanar las heridas (Linares y Bye, 2013). Una década después, Francisco Hernández, el médico del rey español Felipe II, realizó el registro de *tlalahoehuatl* para el tratamiento de dolencias gastrointestinales, problemas urinarios y trastornos oftalmológicos en el centro de México (Hernández, 1959). El género *Agastache* pertenece a Nepetoideae, una subfamilia de las Lamiaceae (Cantino *et al.*, 1992). Las especies de *Agastache* se pueden separar en dos secciones: *Brittonastrum* y *Agastache* (*Chiastandra*) (Lint

y Epling 1945; Sanders, 1987). *Brittonastrum* fue descrito como nativo del suroeste de Estados Unidos y México, mientras que *Chiastandra* fue descrito en relación con la parte norte de los Estados Unidos, Canadá y Asia Oriental (Lint y Epling, 1945). *A. mexicana* es miembro de la sección *Brittonastrum*. Ocho especies forman la sección *Agastache* (*Chiastandra*) y 14 especies la *Brittonastrum*; se ha observado que los miembros de la sección *Agastache* presentan poca variación intraespecífica en comparación con la especie de la selección *Brittonastrum*. A pesar de que entre las mismas secciones existan similitudes morfológicas, no indican una afinidad genética cercana. Análisis de perfiles isoenzimáticos y multivariados así como clasificación morfológica han demostrado que hay tanto características morfológicas como distancias genéticas entre especies de ambas secciones (Vogelmann y Gastony, 1985; Sanders, 1987).

2.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Las plantas del género *Agastache* son hierbas perennes, que alcanzan un metro o más de altura. Los tallos pueden ser simple o ramificado, erecto o ligeramente rastrero, y con un tallo ocasionalmente leñoso, la parte basal y media del tallo es de color morado. Su morfología es típico de Lamiaceae, con hojas pecioladas opuestas, un tallo de cuatro ángulos, numerosos tricomas y flores labiadas con corola rosa (Zielińska y Matkowski, 2014). Hojas ovalo-lanceoladas de 2-8 cm de largo por 2-4 cm de ancho, ápice agudo, atenuado y base redondeada, borde dentado-serrado, textura cartácea y glándulas presentes en toda la lámina (Figura 1). El pecíolo mide 1 cm de largo. La inflorescencia es terminal, se llegan a desarrollar de 15 a 20, sus flores son bilabiadas y tubulares que van de color blanco a púrpura, cada flor contiene una núcula elipsoidal a ovoide, la cual contiene el embrión, los verticilos y corola de color rojizo-morado (Santillán-Ramírez *et al.*, 2008), la rama floral puede ser continua y puntiaguda o discontinua y monoliforme ramificada, teniendo sus racimos más bajos a menudo separados por una mayor distancia y luego aquellos más altos separados por corta distancia (Fuentes-Granados *et al.*, 1998). Los aceites esenciales del toronjil le otorgan su característico aroma a anís, son especialmente abundantes el estragol y limoneno (Estrada-Reyes *et al.*, 2004).

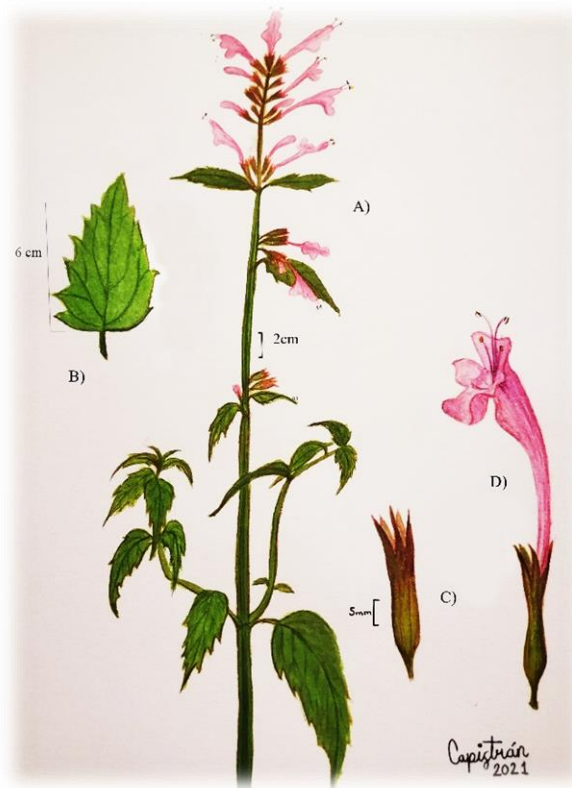


Figura 1. Toronjil morado (*Agastache mexicana* ssp. *mexicana*)

A) Espiga floral, entrenudos de 2 cm, B) Hoja 6 cm, C) Cáliz 5 mm, D) Inflorescencia

Ilustración elaborada de un ejemplar cultivado en esta investigación.

2.4 HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN

Crece de forma silvestre en bosques de pino-encino (CONAFOR, 2010) especialmente en la región del volcán Popocatepetl, en el municipio de Ozumba, Estado de México (Zielińska y Matkowski, 2014); se distribuye geográficamente en la Ciudad de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Veracruz, Jalisco y Michoacán (Verano *et al.*, 2013).

En el herbario HUMO “Graciela Calderón” de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos se han registrado colectas de toronjil morado silvestre, localizado en el estado de Morelos, en los municipios de Huitzilac, Amacuzac, San Juan Tepoztlán, en el “Salto de San Antón” Cuernavaca y en la Sierra de Huautla.

Chávez, (1986) localizó dos grupos de climas donde se colecta el toronjil morado. Los datos se tomaron de las localidades que contaban con alguna estación meteorológica cercana al sitio. El principal grupo fue templado húmedo, que representa tres tipos: el templado subhúmedo con lluvias en verano, el templado húmedo con lluvias en verano y el templado húmedo con lluvias todo el año. En el segundo grupo de los cálidos húmedos, únicamente se encontró el tipo semicálido con lluvias en verano (Cuadro 1).

Se encuentra a alturas de 800 hasta 2800 msnm, temperaturas entre 12 y 22 ° C y a precipitaciones de 800 a 1100 mm (Carrillo-Galván *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Clasificación de algunos grupos climáticos donde crece el toronjil morado (Adaptado de García 1973).

GRUPO	SUBGRUPO	TIPOS
C TEMPLADO HÚMEDO	C TEMPLADO	Templado subhúmedo con lluvias en verano C (w)(w) Templado húmedo con lluvias en verano C (m) Templado húmedo con lluvias todo el año C (fm)
A CÁLIDO HÚMEDO	A (C) SEMICÁLIDO	A(C) (w)(w) Semicálido con lluvias en verano

2.5 REQUERIMIENTOS AGRONÓMICOS

Los primeros trabajos registrados para esta especie fueron por Chávez, (1986), en relación a la propagación vegetativa, concluyendo que mediante esquejes de 1 mm de diámetro con adición de ácido indolbutírico bajo condiciones de temperatura controlada en invernadero se obtiene un mayor número de esquejes enraizados.

Jasso-Chaverría, (2008) mediante un boletín técnico emitido por INIFAP y SAGARPA recomienda el cultivo de plantas medicinales (incluyendo el toronjil morado), en huertos traspatio mediante una producción orgánica para las zonas semiáridas del Altiplano Potosino y Zona Media de San Luis Potosí, en general zonas del noreste de México, adicionar materia orgánica al suelo antes de la siembra, mediante el uso de residuos de cosecha o de estiércol.

Para la reproducción asexual: esquejes con longitud de 10-12 cm, añadiendo ácido indolacético (AIA) a razón de 400 ppm. El sustrato para enraizar turba (peat moss) y tierra de mezquite (1:1). El tiempo de crecimiento en vivero varía de 2 a 3 meses antes del trasplante al terreno definitivo. Este proceso lo recomiendan para especies con baja germinación de semillas. También menciona que al cultivarse con diversas plantas medicinales, por la capacidad de producir metabolitos secundarios que actúan como repelentes o insecticidas, no se presentaron problemas relacionados con la incidencia de plagas o enfermedades en el cultivo que desarrollaron.

Torres, (2019) reportó el cultivo de toronjil en contenedor bajo túnel con cubierta plástica en Xochimilco, Ciudad de México, donde se evaluaron cuatro dosis de fertilización nitrogenada (6, 12, 18 y 24 mEq L⁻¹) en el cultivo de *A. mexicana*, y no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el crecimiento de flores, tallos y hojas. Esta podría ser la primera y la única investigación reportada sobre fertilización nitrogenada en toronjil morado.

En investigaciones realizadas en la actualidad por Carrillo-Galván *et al.* (2020) mencionan que en la localidad de Santiago Mamalhuazuca, Estado de México se cultiva ampliamente toronjil morado y toronjil blanco (*Agastache mexicana* ssp. *xolocotziana*). El cultivo lo desarrollan de dos formas, mediante plántulas que se obtienen de plantas silvestres o “estimuladas”, que es mediante rizoma. El término “estimulado” hace referencia a plantas cultivadas pero no con la intensidad que conlleva todos los requerimientos agronómicos como fertilización, control de plagas y enfermedades, de riego y de temperatura. Sin embargo, algunas personas lo producen mediante plántulas para obtener plantas más duras y resistentes a las variaciones ambientales. Cada año, alternan los cultivos para favorecer las plantas vigorosas. El cultivo de toronjil comienza en abril para cosechar la parte aérea de las plantas (tallo e inflorescencia) en noviembre. En el rizoma brotan tallos, lo que permite otra cosecha en el próximo mes de febrero. En la primera cosecha se produce una mayor cantidad de plantas, la segunda cosecha proveniente de rizomas es escasa y de baja calidad, resultando en un precio de venta más alto en febrero. Además, determinaron que las plantas cultivadas obtuvieron cinco compuestos aromáticos más, comparadas con las plantas “estimuladas” con sólo tres compuestos aromáticos disponibles. La evidencia morfo-fisiológica indica diferencias significativas en las

características florales, de semillas y vegetativas entre las plantas cultivadas y plantas “estimuladas” de *A. mexicana*. A pesar de esto en el porcentaje de germinación de semillas no hubo diferencias significativas entre las especies cultivadas y las estimuladas.

2.6 MODO DE PREPARACIÓN

Archundia (2005) menciona que las partes utilizadas son las hojas, tallos, flores y raíces, y el modo de preparación puede ser cocimiento, infusión y en seco (polvo) vía oral. Santillán-Ramírez *et al.* (2008) reportaron diferentes usos en la comunidad de Temoaya, Estado de México, donde los habitantes de esta zona son de grupos otomíes y mestizos y refieren que el toronjil puede ser hervido hasta que el “agua pinte”, con o sin azúcar, sólo o mezclado con otras plantas como el hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), tila [*Ternstroemia pringlei* (Rose) Standl.], canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) o rosa de castilla (*Rosa centifolia* L.). También se consume molido en metate, mezclado con pulque y ajeno (*Artemisia absinthium* L.) para que “jale el hambre”; en té, una ramita de toronjil blanco y rojo, más el hinojo molido en la licuadora; en caso de “susto” hervido en agua para bañar al enfermo. CONAFOR, (2010) reportó que la parte utilizada es toda la planta excepto la raíz. En dosis de 6 g. de planta por litro de agua, beber una taza después de cada comida durante 15 días. Quevedo, (2015), menciona en su investigación que los pobladores del municipio de Ocotepéc, Morelos, toman una cucharada por día cuando hay malestar, la parte más utilizada son las hojas. En niños se utiliza en baños para curar el espanto, “mal de ojo”, nervios, entre otras enfermedades.

Todos estos reportes forman parte de la medicina tradicional, y usualmente el modo de preparación se ha ido transmitiendo de generación en generación. Para un uso adecuado se requiere de un control de calidad, con base en perfiles químicos donde avalen la presencia de los metabolitos en las plantas a consumir y su pureza. También es necesario que estén regulados por instituciones como COFEPRIS y estar descrito en la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos.

En las farmacopeas se registran los estándares para las drogas de utilidad terapéutica, además de pruebas para la identificación de cantidad y pureza, pruebas para el aseguramiento

de uniformidad en las propiedades físicas y químicas entre otras. En México, en el año 2001, la Secretaría de Salud Pública editó la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos (Rendón-Alonso, 2014). El control de calidad de *A. mexicana* ha sido estudiado por Rendón-Alonso (2014) en plantas obtenidas en el mercado de Sonora, Ciudad de México. Los resultados obtenidos sugieren que para un control de calidad se necesita la identidad botánica macroscópica y microscópica, el porcentaje de materia extraña, ya que en las pruebas realizadas las plantas tenían materia extraña como insectos pequeños (plaga no identificada) y mezcla de otras especies de toronjiles. Además, debe considerarse la cuantificación de material extraíble, el tamizaje fitoquímico, extracción y cuantificación del aceite esencial, determinación de la humedad, cuantificación de compuestos fenólicos, cuantificación de arsénico y metales pesados, determinación de residuos de pesticidas y evaluación de la calidad microbiológica.

2.7 ANTECEDENTES FARMACOLÓGICOS

Desde hace más de dos décadas, Linares *et al.* (1990) y Aguilar *et al.* (1994) mencionaron el uso de *A. mexicana* para tratar enfermedades del corazón, mediante la cocción de la planta, tomándola oralmente. Como ya se ha mencionado, su uso tiene origen desde el siglo XVI (1552); su savia se aplicaba para sanar las heridas (Linares y Bye, 2013). También se usó para el tratamiento de dolencias gastrointestinales, problemas urinarios y trastornos oftalmológicos (Hernández, 1959).

Las especies de *Agastache* son ricas en fenilpropanoides y terpenoides. El primero incluye flavonoides, ácidos fenólicos libres y dépsidos, así como lignanos. El segundo grupo involucra a los terpenoides que están contenidos en fracciones volátiles o no volátiles. La mayoría de los estudios publicados se centran en el análisis de aceites esenciales (Zielińska y Matkowski 2014).

Meza (2011) reportó la concentración de fenoles y flavonoides totales en seis plantas medicinales, de las cuales, *A. mexicana* presentó la concentración más alta de fenoles totales en flores (514.66 µg/mL) y de flavonoides totales en las hojas (104.55 µg/g), a pesar de ello,

la mayor actividad antioxidante la obtuvo la planta de cuachalalate (*Amphipterygium Adstringens* Schiede), seguido por *A. mexicana* y la jacaranda (*Jacaranda mimosifilia*). Ibarra-Alvarado *et al.* (2010) estudiaron los extractos acuosos de plantas medicinales empleadas en la medicina tradicional mexicana para el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y su capacidad de modificar el tono del músculo liso arterial en ratones. En el caso de *A. mexicana* se reportó que sus efectos antioxidantes mostraron una correlación significativa con el contenido de polifenoles, sin embargo, una baja correlación se encontró entre la actividad antioxidante y el máximo efecto vasodilatador, lo que sugiere que la vasodilatación provocada por los extractos de plantas podría ser solamente parcialmente atribuida a sus propiedades antioxidantes. También reportan el uso de *A. mexicana* para tratar dolencias cardiovasculares incluyendo cardiopatía isquémica aterosclerótica y enfermedad de la arteria coronaria. Por otro lado, en estudios enfocados en la actividad antidepresiva de los extractos de toronjil azul (*Dracocephalum moldavica* L.) y *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* se cuantificaron flavonoides, fenoles, alcaloides, esteroides, taninos y la actividad antioxidante. Mediante el método DPPH, *A. mexicana* mostro el 99.39 % de inhibición, mientras que el toronjil azul presento 98 % de inhibición, resultando que ambos extractos tienen capacidad antioxidante.

Entre los diversos usos que se le han atribuido al toronjil morado se encuentran los siguientes: control de la presión arterial, alivio de enfermedades del corazón, insomnio, dolor del estómago, tos, asma, bronquitis, pulmonía, sinusitis, ronquera, tosferina y gripe (Monroy-Ortiz y Castillo-España, 2007; Cruz-Torres, 2016). Algunos de los compuestos que han sido aislados y su función biológica son los siguientes: mentona (carminativo, estomacal, antiespasmódico), camfeno (antiinflamatorio, antimicótico, analgésico, antiespasmódico), β -pineno (antiespasmódico, carminativo, aperitivo, antiséptico, expectorante, diurético), limoneno (antiséptico urinario, antiespasmódico, carminativo, aperitivo, antiséptico, expectorante, eupéptico), citronelal (carminativo, antiespasmódico), pulegona (antiséptico urinario), triterpeno (antihipertensivo, antiaterosclerótico, cardiotónico y antidiabético) (Zielińska y Matkowski, 2014; Cruz-Torres, 2019).

Los compuestos aislados en *A. mexicana* se han clasificado en dos grupos: compuestos volátiles como aceites esenciales, y no volátiles como fenilpropanoides y terpenoides. Los

aceites esenciales son producidos en mayor cantidad durante la fase de floración y decrecen en la fase de senescencia (Svoboda *et al.*, 1995). También presenta compuestos no volátiles como el terpeno denominado pulegona y los flavonoides como apigenina, luteolina, diosmetina y tilianina (Fuentes-Granados *et al.*, 1998). Se ha dilucidado mediante diversas técnicas la presencia de compuestos bioactivos presentes en *A. mexicana* como lo son: tilianina, apigenina, acacetina, quercetina, ácido ursólico y ácido oleanólico (Carmona-Castro *et al.*, 2019). Resultando benéficos en tratamientos para padecimientos como la ansiedad, el insomnio, trastornos cardiovasculares, reumatismo, afecciones gastrointestinales, hipertensión y diabetes (Ventura-Martínez *et al.*, 2017). Otros compuestos identificados en *A. mexicana* son el ácido rosmarínico (0.64 mg/g) y ácido cafeíco (0.15 mg/g) (Janicsak *et al.*, 1999).

El ácido ursólico es un metabolito abundante en la actividad antinociceptiva, existe evidencia de anti-hiperalgesia (mecánica y térmica) inducida por ácido ursólico, obtenido de las partes aéreas de *A. mexicana*, por lo tanto, puede ejercer un efecto potencial sobre el dolor neuropático (Quiñonez-Bastidas y Navarrete, 2021). El ácido ursólico se ha identificado en extractos de acetato de etilo y metanol de partes aéreas de *A. mexicana* (20.3 mg/g), como compuesto activo antinociceptivo (Verano *et al.*, 2013).

La tilianina es un glucósido de flavona que se aisló previamente de *Agastache rugosa* (Itokawa *et al.*, 1981) y fue sintetizado por primera vez por Nogradi *et al.* (1967). Las actividades farmacológicas y biológicas atribuidas a la tilianina son su efecto inhibidor sobre la expresión de la enzima inducible óxido nítrico sintasa, la baja regulación de la expresión de vasos vasculares inducida por moléculas de adhesión de células TNF (citoquina proinflamatoria secretada en el sistema inmunitario) en células endoteliales y la actividad antiaterogénica (Hong *et al.*, 2001; Nam *et al.*, 2006). El conjunto de compuestos orgánicos presentes en *A. mexicana* como el ácido ursólico, oleanólico, acacetina y la tilianina, actúan por el efecto vasorrelajante dependiente del endotelio, bloqueando los canales de Ca^{2+} dependientes de voltaje e inducen la apertura de canal de K^+ y la producción de NO (óxido nítrico) mediante la presencia del endotelio. Además, la tilianina produce una importante actividad antihipertensiva (Hernández-Abreu *et al.*, 2009; Flores-Flores *et al.*, 2016).

La especie *A. mexicana* ha sido considerada como la mayor productora de tilianina (8 mg/g de peso seco), siendo aún mayor la acumulación en cultivo de tejidos diferenciados (Hernández-Abreu *et al.*, 2011). Gálvez *et al.* (2015) describieron en su estructura química a la tilianina como Acacetin-7-O-glucósido (7-ACAG), un glucósido de flavona capaz de ayudar en el tratamiento para daño cerebral traumático, accidentes cerebrovasculares y para condiciones postoperatorias causadas por neurocirugía o enfermedades como Alzheimer.

Jiménez (2016) realizó pruebas de toxicidad en el consumo de *Dracocephalum moldavica* L. y *Agastache mexicana* ssp. mexicana. Las pruebas de (DL₅₀) 5g/kg en roedores mostraron que no hay efectos toxicológicos, únicamente se presentó diarrea como efecto secundario en la concentración de 250 mg/kg del toronjil morado y sueño en la dosis de 750 mg/kg del toronjil azul. Por otro lado, Hernández-Abreu *et al.* (2012) realizaron estudios en roedores para descartar el efecto toxicológico por el consumo de tilianina. En este caso se suministró tilianina (53.51 mg/kg) aislada de *A. mexicana*, y se descartaron efectos adversos en el riñón, corazón, hígado y en funciones pulmonares. Además, su efecto antihipertensivo fue dependiente de la dosis. Por lo tanto, los resultados apoyan la posibilidad de investigar y desarrollar tilianina para ensayos clínicos como un fármaco hipertensivo.

Además de los antecedentes farmacológicos dirigido al uso en la medicina tradicional mexicana, López *et al.* (2017) sugieren el uso de los compuestos orgánicos de *A. mexicana* en la síntesis de nanopartículas de plata. Debido a que extractos acuosos de *A. mexicana* y *Tecoma Stans* tienen en sus composiciones químicas, compuestos con capacidad para reducir y estabilizar nanopartículas de plata. Además, las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos de agastache y tecoma mostraron propiedades antibacterianas contra *E. coli*.

El tiempo de cosecha influye en la cantidad de metabolitos presente en las especies de *Agastache* como: *A. foeniculum*, *A. mexicana*, *A. rugosa*, *A. scrophulariifolia* y *A. urticifolia*, en las cuales se observó un incremento significativo en la producción de aceite esencial durante la fase de floración, siendo menos durante el crecimiento vegetativo y disminuyendo el rendimiento antes de la etapa de senescencia (Svoboda *et al.*, 1995). Por lo tanto, es imprescindible tener en cuenta que el contenido de flavonoides y ácidos fenólicos depende del

órgano de la planta y la fase ontogenética, y también de factores externos como el estrés biótico y abiótico, y las condiciones ambientales (Zielińska y Matkowski, 2014).

3. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar A., J. R. Camacho, S. Chino, P. Jácquez y M. E. López (1994)** Herbario medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social. IMSS, México, D. F. 253 p.
- Archundia G. E. (2005)** Plantas medicinales de valles altos del Estado de México. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. ICAMEX. Dirección de apoyo técnico y divulgación SEDAGRO, Metepec, Estado de México. Impreso en México, 75p.
- Atanasov A. G., B. Waltenberger, E. M. Pferschy-Wenzig, T. Linder, C. Wawrosch, P. Uhrin y H. Stuppner (2015)** Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology Advances* 33:1582-1614, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.08.001>
- Cantino P. D, R. M. Harley, y S. J. Wagstaff (1992)** Genera of Labiatae: status and classification. In: Harley R. M., Reynolds T. (eds) *Advances in Labiatae Science*. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond. Surrey, TW9 3AE, UK.
- Chávez C. C. Y. (1986)** Propagación vegetativa de toronjil morado (*Agastache mexicana* (HBK) Lint & Epling) y toronjil blanco (*Agastache* sp) por esquejes de tallo, bajo condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 127 p.
- Carrillo-Galván G., R. Bye, L. E. Eguiarte, S. Cristians, P. Pérez, F. Vergara y M. Luna (2020)** Domestication of aromatic medicinal plants in Mexico: *Agastache* (Lamiaceae) an ethnobotanical, morpho-physiological, and phytochemical analysis. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 16:22, DOI: 10.1186/s13002-020-00368-2
- Carmona-Castro G., S. Estrada-Soto, J. Arellano-García, L. Arias-Duran, S. Valencia-Diaz y I. Perea-Arango (2019)** High accumulation of tilianin in *in-vitro* cultures of *Agastache mexicana* and its potential vasorelaxant action. *Molecular Biology Reports* 46:1107-1115, <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4570-4>

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2010)** Plantas medicinales de la Farmacia Viviente del Cefofor: usos terapéuticos tradicionales y dosificación. Coordinación general Educación y Desarrollo Tecnológico Gerencia de Educación y Capacitación. Impreso en México. 188 p.
- Cruz-Torres, K. C. (2016)** Determinación del efecto antidiabético y antihipertensivo de extractos orgánicos de *Agastache mexicana* y su comparación con el extracto hidroalcohólico. Tesis de licenciatura, Facultad de Farmacia, UAEM. 80 p.
- Cruz-Torres K. C. (2019)** Caracterización farmacológica del extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana* en modelos murinos de diabetes, obesidad e hipertensión. Tesis Maestría. Facultad de Farmacia, UAEM. 83 p.
- Fuentes-Granados R, Widrlechner MP, Wilson LA (1998)** An overview of *Agastache* research. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants* 6: 69-97
- Flores-Flores A., O. Hernández-Abreu, M. Y. Ríos, I. León-Rivera, B. Aguilar-Guadarrama, P. Castillo-España, I. Perea-Arango y S. Estrada-Soto (2016)** Vasorelaxant mode of action of dichloromethane-soluble extract from *Agastache mexicana* and its main bioactive compounds, *Pharmaceutical Biology*, 54: 2807-2813, DOI: 10.1080/13880209.2016.1184690
- Gálvez J., R. Estrada-Reyes, G. Benítez-King, G. Araujo, S. Orozco, R. Fernández-Masc, S. Almazáne y E. Calixto (2015)** Involvement of the GABAergic system in the neuroprotective and sedative effects of acacetin 7-O-glucoside in rodents. *Restorative Neurology and Neuroscience* 33: 683-700.
- García, E. (1986)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández F. (1959)** Historia Natural de Nueva España. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández-Abreu O., P. Castillo-España, I. León-Rivera, M. Ibarra-Barajas, R. Villalobos-Molina, J. González-Christen, J. Vergaro-Galicia y S, Estrada-Soto (2009)** Antihypertensive and vasorelaxant effects of tilianin isolated from *Agastache mexicana* are mediated by NQ/cGMP pathway and potassium channel opening. *Biochemical Pharmacology* 78: 54-61.

- Hernández-Abreu O, Durán-Gómez L, Best- Brown R, Villalobos-MolinaR, Rivera-Leyva J, Estrada- Soto S. (2011)** Validated liquid chromatographic method and analysis of content of tilianin on several extracts obtained from *Agastache mexicana* its correlation with vasorelaxant effect. *Journal Ethnopharmacol*, 18:487-91.
- Hernández-Abreu O, M. Torres-Piedra, S. García-Jiménez, M. Ibarra-Barajas, R. V. Molina y S. Estrada-Soto (2012)** Dose-depent antihypertensive determination and toxicological studies of tilianin isolated from *Agastache mexicana*. *Journal Ethnopharmacol* 146:187-91, DOI:10.1016/j.jep.2012.12.029
- Hong J., J. Choi, S. Oh, H. Lee, J. Park, J.Lee, K. Kim, J.T. Jeong y G. Oh (2001)** Inhibition of cytokine-induced vascular cell adhesion molecule-1 expression; possible mechanism for anti-atherogenic effect of *Agastache rugosa*. *Federation of European Biochemical Societies Letters* 495:42-147.
- Ibarra-Alvarado C., A. Rojas-Molina, S. Mendoza, M. Bah, D. M. Gutierrez, L. Hernández-Sandoval y M. Martínez (2010)** Vasoactive and antioxidant activities of plants used in Mexican traditional medicine for the treatment of cardiovascular diseases. *Pharmaceutical Biology* 48:732-739. DOI: 10.3109/13880200903271280
- Itokawa H., K. Suto y K. Takeya (1981)** Structure of isoagastachoside and agastachin, new glucosyl flavones isolated from *Agastache rugosa*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* 29:1777-1779.
- Janicsak G., I. Mathe, V. Mikklosy-Vari y G. Blunden (1999)** Comparative studies of the rosmarinic and caffeic acid contents of Lamiaceae species. *Biochemical Systematics and Ecology* 27:733-738
- Jasso-Chaverría C. (2008)** Tecnología de producción de plantas medicinales y aromáticas. Plantas medicinales. Ficha tecnológica por sistema producto. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis, Santos Degollado 1015-A. [En línea] Disponible en: [<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/349.pdf>] (Consultado Mayo 2020).
- Jiménez Z. M. I. (2016)** Producción de extractos de *Dracocephalum moldavica L.* y *Agastache mexicana ssp. mexicana* y evaluación de la actividad antidepresiva. Tesis

maestría. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de biotecnología, México D.F. 109 p.

- Kayani H. A y S. Khan, S. Naz (2013)** Micropropagation of *Agastache anisata* using nodal segments as explants and cytotoxic activity of its methanolic extracts. *Pakistan Journal of Botany* 45:2105-2109
- Lara H. A. (2000)** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 17: 221-229.
- Linares E., R. Bye y B. Flores-Peñafiel (1990)** Tés Curativos de México, Cuadernos 7. México, Instituto de Biología, UNAM, 47-107 p.
- Linares E. y R. Bye (2013)** Códice De la Cruz-Badiano (Segunda parte). *Arqueología Mexicana*, 51: 34-36
- Lint H. y C. Epling (1945)** A revision of *Agastache*. *American Midland Naturalist* 33:207-230
- López J. L., C. Baltazar, M. Torres, A. Ruíz, R. Esparza, y G. Rosas (2017)** Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Extracts of Mexican Medicinal Plants. Pérez Campos R., Contreras Cuevas A., Esparza Muñoz R. (Eds). *Characterization of Metals and Alloys* Springer. 157-166 p. DOI: 10.1007/978-3-319-31694- 9_13
- Meza-Olmedo, M. Ane-jo, y M. E. Bautista Ramírez, (2011)** Análisis de flavonoides en plantas medicinales por electroforesis capilar y determinación de su actividad biológica Tesis. Departamento de Bioprocesos. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del IPN, Ticomán, México. 53 p.
- Moharami L., B. Hosseini, E. G. Ravandi y M. Jafari (2014)** Effets of plant growth regulators and explant types on in vitro direct plant regeneration of *Agastache foeniculum*, an important medicinal plant In vitro Cellular y Developmental. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 50: 707-711, DOI: 10.1007 / s11627-014-9640-2
- Monroy-Ortiz y Castillo-España (2007)** Plantas medicinales del estado de Morelos. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2da Edición. ISBN 968-878-277-7, 405 p
- Nam K., J. Choi, Y. Seo, Y. Lee, Y. Won, M. Lee... y G. Oh (2006)** Inhibitory effects of tilianin on the expression of inducible nitric oxide synthase in low density lipoprotein receptor deficiency mice. *Experimental and Molecular Medicine* 38: 445-452

- Nogradi M., L. Farkas, H. Wagner y L. Hörhammer, (1967)** Transacylation in the flavonoid series. I. A new synthesis of cosmosiin and tilianin. *Tetrahedron Letters* 16:1453-1456.
- Omidbaigi R., y M. Mahmoodi (2010)** Effect of irrigation regimes on the essential oil content and composition of *Agastache foeniculum*. *Journal of essential oil-bearing plants* 13:59-65, DOI:10.1080/0972060X.2010.10643791
- Quevedo L. Y. (2015)** Plantas medicinales: un estudio de caso etnobotánica en la localidad de Ocoatepec, Municipio de Cuernavaca, Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México, D.F. 204 p.
- Quiñonez-Bastidas G. N. y A. Navarrete (2021)** Mexican Plants and Derivates Compounds as Alternative for Inflammatory and Neuropathic Pain Treatment. A Review. *Plants*, 10:865. <https://doi.org/10.3390/plants10050865>
- Rendón-Alonso L. (2014)** Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Tesis Licenciatura. Cuautitlán Izcalli, Edo. México. 101 p.
- Santillán-Ramírez M. A., M. E. López-Villafranco, S. Aguilar-Rodríguez, y A. Aguilar-Contreras, (2008)** Estudio etnobotánico, arquitectura foliar y anatomía vegetativa de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* y *A. mexicana* ssp. *xolocotziana*. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 513-524 DOI: 10.22201/ib.20078706e.2008.002.550
- Sanders R. W. (1987)** Taxonomy of *Agastache* section Brittonastrum (Lamiaceae-Nepeteae). Systematic Botany Monograph No 15. American Society of Plant Taxonomists. USA 79: 513-524
- Steiner A. A. (1984)** The universal nutrient solution. ISOSC. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. Lunteren. The Netherlands. 633-649 p.
- Svoboda K. P., J. Goughy y J. Hampson (1995)** Analysis of the essential oils of some *Agastache* species grown in Scotland from various seed sources. *Flavour and Fragrance Journal*, 10:139-145
- Tuan P. A, W. T. Park y H. Xu (2012)** Accumulation of tilianin and rosmarinic acid and expression of phenylpropanoid biosynthetic genes in *Agastache rugosa*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. DOI:10.1021/jf300833m

- Torres D. G. (2019)** Caracterización de la semilla, composición química del aceite esencial y efecto de la fertilización nitrogenada en *Agastache mexicana* ssp. *mexicana*. Tesis maestría. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. 66 p.
- Ventura-Martínez R., R. Rodríguez, M. E. González-Trujano, G. E. Ángeles-López, M. Déciga- Campos, y C. Gómez (2017)** Spasmogenic and spasmolytic activities of *Agastache mexicana* and *A. mexicana* ssp. *xolocotziana* methanolic. *Journal of ethnopharmacology* 196: 58-65, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.023>
- Verano J., M. E. González-Trujano, M. Déciga-Campos, R. Ventura-Martínez y F. Pellicer (2013)** Ursolic acid from *Agastache mexicana* aerial parts produces antinociceptive activity involving TRPV1 receptors, cGMP and a serotonergic synergism. *Farmacología, bioquímica y comportamiento* 110:255-264, <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2013.07.020>
- Vogelmann J. E. y G. J. Gastony (1987)** Electrophoretic enzyme analysis of North American and eastern Asian populations of *Agastache* sect. *Agastache* (Labiatae). *American Journal of Botany* 74:385–393 <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1987.tb08620.x>
- Zielińska S. y Matkowski A. (2014)** Phytochemistry and bioactivity of aromatic and medicinal plants from the genus *Agastache* (Lamiaceae). *Phytochemistry reviews* 13:391-416, DOI: 10.1007/s11101-014-9349-1

4. CRECIMIENTO VEGETATIVO DE TORONJIL MORADO (*Agastache mexicana* ssp. *mexicana*) EN RESPUESTA AL pH Y CONCENTRACIÓN DE HIERRO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

RESUMEN

Agastache mexicana ssp. *mexicana* es una planta usada en la medicina tradicional mexicana por sus propiedades antiinflamatorias, vasorrelajantes y antiaterogénicas. Su cultivo se basa en conocimientos empíricos, por tal motivo, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto conjunto del pH y la concentración de Fe^{2+} de la solución nutritiva en el crecimiento vegetativo de *Agastache mexicana* cultivado en contenedor bajo cubierta plástica. Se usaron esquejes enraizados obtenidos de plantas madre provenientes de una planta derivada de semilla. Los tratamientos se generaron a partir de un diseño factorial completo entre el pH inicial de la solución nutritiva (5.5 ± 0.1 , 6.0 ± 0.1 , 6.5 ± 0.1) y la concentración de Fe^{2+} (5, 7, 9 mg L^{-1}). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con siete repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en un contenedor de polietileno negro de 12.7 cm (0.87 L) con una planta. El sustrato fue una mezcla (v/v) de tezontle rojo (60 %), ocochal de pino (30 %) y polvillo de coco (10 %). La nutrición de las plantas de todos los tratamientos se realizó con la solución nutritiva universal (Steiner, 1984) al 60 % de su concentración original. Los resultados indicaron que en la producción de *A. mexicana* en contenedor bajo cubierta plástica es importante considerar la interacción entre el pH y la concentración de Fe^{2+} en la solución nutritiva puesto que afectó significativamente el área foliar, la materia seca de las hojas y modificó la partición de la materia seca entre la raíz, el tallo y las hojas. También se debe tomar en cuenta el efecto del pH como factor principal debido a su influencia benéfica en el diámetro de tallo. Por lo anterior, es conveniente que la solución nutritiva tenga pH de 6.0 ± 0.1 y concentración de Fe^{2+} de 5 mg L^{-1} .

Palabras clave: *Agastache mexicana*, solución nutritiva universal Steiner, planta medicinal, sustrato, contenedor.

SUMMARY

Agastache mexicana ssp. *mexicana* is a plant used in traditional Mexican medicine for its anti-inflammatory, vasorelaxant and anti-atherogenic properties. Its cultivation is based on empirical knowledge, for this reason, the aim of current investigation was to study the effect of pH and the Fe^{2+} concentration of the nutrient solution in the vegetative growth of *Agastache mexicana* produced in a container under plastic cover. Rooted cuttings obtained from a mother plant generated from a plant cultivated by sowing seeds were used. The treatments were generated from a complete factorial design between the initial pH of the nutrient solution (5.5 ± 0.1 , 6.0 ± 0.1 , 6.5 ± 0.1) and the Fe^{2+} concentrations (5, 7, 9 mg L^{-1}). The experimental design was completely randomized with seven replicates. The experimental unit was a 12.7 cm (0.87 L) black polyethylene container with a plant. The substrate was a mixture (v/v) of red tezontle (60 %), pine leaves (30 %) and coconut dust (10 %). The nutrition of the plants of all the treatments was carried out with the universal nutrient solution (Steiner, 1984) at 60 % of its original concentration. The results indicated that in the production of *A. mexicana* in a container under plastic cover it is important to consider the interaction between pH and concentration of Fe^{2+} in the nutrient solution since it significantly affected the foliar area, the dry matter of the leaves and modified the partition of dry matter between the root, stem and leaves. The effect of pH as the main factor should also be taken into account due to its beneficial influence on stem diameter. Therefore, it is advisable that the nutrient solution has a pH of 6.0 ± 0.1 and Fe^{2+} concentration of 5 mg L^{-1} .

Key words: *Agastache mexicana*, universal nutrient solution, Steiner, medicinal plant, substrate, container.

4.3 INTRODUCCIÓN

Agastache mexicana ssp. *mexicana* es una planta herbácea de origen mexicano de alta demanda en México por su consumo medicinal (Carrillo-Galván *et al.*, 2020). Se comercializa en fresco o seco ya sea a granel o en preparados para infusión, utilizando principalmente hojas tallos y flores (CONAFOR, 2010; Quevedo, 2015), aunque también se comercializa como producto ornamental (Santillán-Ramírez *et al.*, 2008). Su actividad farmacológica se le ha atribuido a su alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides (López *et al.*, 2017). Sus principales propiedades medicinales son antiinflamatorias, vasorrelajantes y antiaterogénicas (Hernández-Abreu *et al.*, 2012). Al ser cultivada de manera empírica su producción es limitada con ciclos de bajo rendimiento, especialmente cuando la cosecha proviene de rizoma, además el crecimiento en tallos se presenta de manera heterogénea, y a pesar de que plantas cultivadas presentan inflorescencias grandes, la calidad de las semillas es baja (Carrillo-Galván *et al.*, 2020), además de ser muy susceptible a pudriciones por hongos. Por lo anterior, es importante tecnificar el cultivo de esta especie para favorecer su crecimiento vegetativo y rendimiento.

Una técnica de producción agronómica que permite tener altos rendimientos y calidad es el manejo de la solución nutritiva (SN), lo cual representa una vía para proporcionar los nutrimentos necesarios para el desarrollo y crecimiento de los cultivos (Carrasco *et al.*, 2007). En esta investigación se consideró el pH como una de las características de la solución nutritiva que más influencia tienen en el crecimiento, rendimiento y en la calidad de los productos vegetales de interés antropogénico (Steiner, 1984). El pH de la SN se determina por la concentración de los ácidos y de las bases. Los valores apropiados para el desarrollo de los cultivos se encuentran entre 5.5 y 6.5; sin embargo, el pH de la SN no es estático, ya que depende del CO₂ en el ambiente, si el contenedor de la SN está cubierto o descubierto, y de los demás compuestos inorgánicos presentes en la solución.

Otro aspecto importante de la SN es la presencia de los micronutrimentos esenciales en la concentración adecuada para evitar deficiencias, como la del hierro (Fe) (Steiner, 1984). Este elemento es un micronutriente esencial para casi todos los organismos vivos debido a su

participación en procesos metabólicos fundamentales como la síntesis de ADN, respiración y fotosíntesis. Además, muchas vías metabólicas y enzimas son activadas por el Fe. Un desequilibrio entre la solubilidad del elemento en el suelo y su demanda por la planta son las principales causas de la clorosis férrica. Aunque es abundante en la mayoría de los suelos bien aireados, la actividad biológica del Fe es baja porque forma compuestos férricos altamente insolubles en pH neutros. La deficiencia de Fe es un problema común en los cultivos, lo que resulta en bajos rendimientos y reducción de la calidad nutricional de los alimentos de origen vegetal (Rout y Saho, 2015). La disponibilidad del Fe disminuye a medida que se eleva el pH del suelo. Su solubilidad es mayor en pH ácidos y sus deficiencias son comunes en suelos alcalinos. Por otra parte, la estabilidad de los quelatos de hierro, aunque depende del pH, no sigue esta tendencia (Alcántar y Trejo, 2012). Los quelatos son productos de alta estabilidad capaces de mantener los iones metálicos rodeados de una molécula orgánica (agente quelante) de modo que queden salvaguardados del entorno que favorecería su precipitación (García *et al.*, 2006). Su principal vía de actuación es en disolución nutritiva o por aplicación foliar. Por lo tanto, son las formas predominantes de Fe soluble (Lucena, 2009).

Debido a la carencia de información sobre el nivel de pH y concentración de Fe^{2+} para la producción de toronjil morado, se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto conjunto del pH y la concentración de Fe^{2+} de la solución nutritiva sobre el crecimiento vegetativo de toronjil morado cultivado en contenedor bajo cubierta plástica.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio y diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de polietileno blanco lechoso 30 % sombra, localizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México ($18^{\circ}58'51''$ N, $99^{\circ}13'57''$ O, 1868 msnm). El clima de la región es semicálido-subhúmedo [A(C) w2 (w) i g], con temperaturas que oscilan entre 9 y 32 °C, precipitación media anual de 1500 mm, lluvias intensas en verano y precipitaciones menores de 5% en invierno (García, 1986).

Establecimiento y manejo del experimento

Se utilizaron esquejes enraizados de 10 cm de longitud obtenidos de una población genéticamente uniforme, la cual se generó mediante propagación vegetativa a partir de una planta madre seleccionada de una población de 800 individuos, cada uno de ellos provenientes de semilla colectada de toronjil morado del huerto de la Dirección de Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (18°58'53" N, 99°13'58.4" O). La planta madre se seleccionó por el crecimiento sobresaliente con respecto a la población inicial en cuanto a diámetro de tallo, altura, número de tallos secundarios y área foliar. En adición a este procedimiento es importante mencionar que comparado por lo descrito por Chávez, (1986), donde menciona que esquejes de *A. mexicana* de 1 mm son favorables para enraizar, comparados con esquejes de 2 y 3 mm. En esta investigación se utilizaron esquejes de más de 1 mm de diámetro y enraizaron favorablemente. Los esquejes enraizados se trasplantaron en contenedores de polietileno negro de 12.7 cm (5 pulgadas) de 0.87 L de capacidad. El sustrato se elaboró con una mezcla volumétrica de tezontle rojo de granulometría 0.5-1.0 ± 1 cm de diámetro (60 %), ocochal de pino granulometría ≤ 0.5 mm ± 1 cm y (30 %) y polvo de coco (10 %), debido a la carencia de información al respecto; sin embargo, con la combinación de materiales orgánicos e inorgánicos existe la posibilidad de proporcionar a la planta condiciones que favorezcan el crecimiento (Cruz-Crespo *et al.*, 2010). Al respecto, Mendoza *et al.* (2011) mencionan que materiales orgánicos como polvo de coco y corteza de pino se han utilizado con un tamaño de partícula de 0.5 mm con la finalidad de proporcionar óptima capacidad de aireación y de retención de humedad y agua disponible. Civeira (2010) y Durán y Henríquez (2010) indican que cuando el tamaño de partícula del material inorgánico es mayor a 1 mm de diámetro que el orgánico, la capacidad de aireación se incrementa, lo que facilita el transporte de nutrimentos y el desarrollo de raíces.

El pH del sustrato fue de 6.71 y se humedeció con una solución del fungicida Cercobin® (2 mL·L⁻¹; i.a. Tiofanato metílico) y se solarizó 7 días con la finalidad de prevenir el ataque de fitopatógenos en la raíz. Antes del trasplante, las macetas se sumergieron 10 min en una solución preparada con 2 mL·L⁻¹ del desinfectante Anibac® (i.a. cuaternario de amonio). Al

trasplante se dio un riego con una solución del desinfectante Anibac® (2 mL L⁻¹). Al follaje se aplicó fungicida Oxicob 85® (i.a. Oxiclورو de cobre) en dosis de 1 mL · L⁻¹.

En contraste con lo publicado por Jasso-Chaverría, (2008) donde mencionan que al ser una planta medicinal no hay incidencia de plagas o enfermedades, en el desarrollo de este trabajo hubo presencia de plagas y enfermedades en el desarrollo de las plantas madre. Con relación en la información proporcionada por Chávez, (1986) coincidió que las plagas que se originaron en otros cultivos presentes en el mismo invernadero afectaron a las plantas de toronjil.

La nutrición de las plantas de todos los tratamientos se realizó con la solución nutritiva universal (Steiner 1984) al 60 % de su concentración original a partir del trasplante hasta la aparición de la primera inflorescencia (10 ± 1 mm de longitud). En la preparación de la solución nutritiva se utilizaron fertilizantes altamente solubles (nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, fosfato monopotásico y sulfato de magnesio); también se incorporaron los micronutrientes: H₃BO₃, 2.88 mg L⁻¹; Mn, 0.502 mg L⁻¹ (MnCl₂); Zn, 0.05 mg L⁻¹ (ZnSO₄); Cu, 0.045 mg L⁻¹ (CuSO₄); Mo, 0.010 mg L⁻¹ (H₂MoO₄) y el hierro de acuerdo con el tratamiento. El pH del agua se ajustó con H₂SO₄ según el tratamiento. El Fe se incorporó a la solución en forma quelatada (Fe-EDTA; 13.2 % de hierro; Tradecorp Fe®). El Fe-EDTA es estable en pH de 4 a 7.

Los riegos se realizaron cada tercer día de forma manual. Al momento del trasplante, el primer riego fue con solución nutritiva y los dos siguientes con agua, posteriormente con solución nutritiva seguidos de dos riegos con agua; este régimen se continuó hasta concluir el experimento. Se desconoce cuál es el mejor régimen para producir toronjil morado, pero Steiner (1961) señala que cuando se aplica la solución nutritiva en forma continua, las plantas pueden absorber iones a bajas concentraciones, pero si la concentración es demasiado baja existe la posibilidad de no cubrir las necesidades nutrimentales y en consecuencia se presenten síntomas de deficiencia. En el otro extremo de concentración, el consumo excesivo puede conducir a efectos tóxicos. Durante el experimento se registró la humedad relativa, intensidad luminosa y temperatura con un datalogger (Hobo®, Massachusetts, USA).

Diseño de tratamientos

El diseño de tratamientos fue en factorial completo con dos factores. El primer factor fue el pH inicial de la solución nutritiva (5.5 ± 0.1 , 6.0 ± 0.1 , 6.5 ± 0.1) y el segundo fue la concentración de Fe^{2+} (5, 7, 9 mg L^{-1}), por lo cual se tuvieron nueve tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con siete repeticiones y la unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro de 12.7 cm de diámetro superior (capacidad de 0.87 L) con una planta.

VARIABLES EVALUADAS

Las variables de respuesta fueron: contenido relativo de clorofila, diámetro de tallo, longitud de tallo, área foliar, volumen de raíz y materia seca de raíz, tallo y hojas. El contenido relativo de clorofila se determinó con un SPAD-502 (Konica Minolta). La longitud del tallo se midió desde la base del tallo hasta el ápice con el uso de una regla graduada. El diámetro del tallo, con un calibrador vernier digital y se obtuvo de la base del tallo principal, a 2 cm por encima del sustrato. Para el área foliar se utilizó un integrador de área foliar (LI-COR, LI-3100C). El volumen de raíz se obtuvo mediante la técnica de desplazamiento de agua usando una probeta de 100 mL. Para obtener la materia seca de raíz, tallo y hojas, los órganos se colocaron en una estufa de circulación forzada de aire (LUZEREN, DHG9070A) a una temperatura de 72 °C durante 72 h y posteriormente se pesaron en una balanza digital (AND, EJ 2000).

Análisis estadístico

A los datos se les realizó el análisis de varianza con el programa SAS (Versión 6.12) y los que mostraron diferencia estadística significativa se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p \leq 0.05$).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los 5 meses que duró el experimento (agosto a diciembre de 2020) las variables ambientales promedio diurnas fueron los siguientes: temperatura 24.86 °C, humedad relativa (HR) de 49.29 % e intensidad luminosa de **849.90 Lux**; mientras que en la noche: temperatura 16.94 °C y HR de 63.75 %. Es importante considerar las variables antes indicadas debido a su influencia en la respuesta de la planta a otros aspectos de la producción, como la nutrición.

De acuerdo con el análisis de varianza ($p \leq 0.05$), el contenido relativo de clorofila, la longitud de tallo, volumen de raíz, materia seca de tallo y de la planta completa, presentaron valores estadísticamente similares en los niveles de pH y concentraciones de Fe^{2+} evaluados en el experimento, por lo que la discusión se centra en las variables de crecimiento afectadas significativamente por los factores principales y su interacción.

Con relación al pH, el diámetro de tallo fue 25.23 % superior en las plantas nutridas con solución pH de **6.0±0.1** respecto al de las plantas que recibieron solución con pH 5.5±0.1 y 6.5±0.1 (Cuadro 2). Vu-Phong *et al.* (2020) reportaron que en la especie *A. rugosa* cultivada hidropónicamente el crecimiento vegetal y concentración de compuestos bioactivos se incrementaron por el uso de la solución nutritiva Hoagland con pH de 6, conductividad eléctrica de 1.1 dS m⁻¹ y la adición de ácido indol-3-acético (IAA 10⁻⁷ M).

Por su parte, Sambo *et al.* (2019) mencionan que la inhibición del crecimiento generalmente se puede atribuir a uno o más factores dependientes del pH, incluida la disponibilidad de nutrientes, el antagonismo iónico y la precipitación de sales fertilizantes. En este sentido, es probable que en el cultivo en maceta de *A. mexicana* con el pH 6 se encontraron disponibles los nutrientes, como el calcio que contribuye a la división celular (Alcántar y Trejo, 2012). Por otro lado, la respuesta al pH también depende de la especie. Al respecto, Roosta y Rezaei, (2014) indican que en el cultivo de Rosa cv. Gran Gala en sistema hidropónico, el diámetro del capullo y el tallo aumentó con el uso del pH de 4.5 a 6.5, pero luego comenzó a disminuir con un aumento adicional del pH hasta 8.

En plantas de *A. mexicana* cultivadas en viveros o huertos traspatio se han observado tallos delgados con baja resistencia mecánica al daño mecánico y espigas florales de mala calidad (Guttman *et al.*, 2004; Zielińska y Matkowski, 2014). Por lo tanto, el incremento en el diámetro de tallo es una variable morfológica importante en la producción de la especie.

En cuanto a la acumulación de materia seca, la raíz fue favorecida por el pH 6.5 ± 0.1 ya que su acumulación fue 47.76% superior en comparación con la materia seca de raíz de las plantas que recibieron la solución nutritiva con pH 5.5 ± 0.1 y 6.0 ± 0.1 (Cuadro 2). La distribución de la materia seca entre varias partes de la planta se ha descrito como procesos de distribución dependientes del tiempo o estado de desarrollo del cultivo (Bugarin *et al.*, 2002).

Robles-Aguilar *et al.* (2019) reportaron en estudios realizados en *Lupinus angustifolius* que la distribución de la masa seca de la raíz se benefició por el pH neutro (pH 6.5) bajo cultivo hidropónico de contenedor con arena de río. Por otro lado, en cultivo hidropónico de *Artemisia afra* Jacq en el peso de materia seca de raíces no hubo diferencias significativas para los pH de 6.5, 5.5 y 7.5 (Koehorst *et al.*, 2010), pero al aumentar a pH de 8 disminuyó su contenido.

Cuadro 2. Efecto del pH de la solución nutritiva en el diámetro de tallo y acumulación de materia seca de raíz de toronjil morado producido en contenedor bajo cubierta plástica.

pH	Diámetro de tallo (mm)	Materia seca de raíz (mg)
5.5 ± 0.1	2.08 b	0.67 b
6.0 ± 0.1	2.68 a	0.67 b
6.5 ± 0.1	2.20 b	0.99 a
DMS	0.39	0.26
C.V. (%)	27.07	55.07

Medias con letras iguales en la columna no son estadísticamente diferentes según prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. C.V.: coeficiente de variación.

El balance de acumulación de materia seca requiere que el flujo sostenido de carbohidratos a partir de los órganos-fuente, iguale la capacidad de los órganos-

sumideros para su utilización (Minchin *et al.*, 2002), además de estar influenciada por el pH (Jiang *et al.*, 2017). Los datos anteriores evidencian que la acumulación de materia seca en las raíces es afectada por el pH, pero está en función de la especie.

Con relación al Fe^{2+} , la concentración de este ion en la solución nutritiva afectó significativamente ($p \leq 0.05$) la partición de materia seca del tallo en toronjil morado (Figura 2). Las plantas nutridas con 9 mg L^{-1} destinaron 24.04 % de la materia seca de la planta al tallo, lo cual representó 7.66 % más que en las plantas nutridas con 7 mg L^{-1} de Fe^{2+} . La interacción entre el pH y la concentración de Fe^{2+} en la solución nutritiva provocó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el área foliar y materia seca de hojas, y significativas ($p \leq 0.05$) en la partición de materia seca en raíz y hojas (Cuadro 3). Las plantas nutridas con solución nutritiva que tuvieron pH/Fe^{2+} $6.0 \pm 0.1/5$ y $6.5 \pm 0.1/7$ presentaron área foliar 88.11 % más que las plantas nutridas con $5.5 \pm 0.1/5$ y $6.0 \pm 0.1/7$ (Cuadro 3).

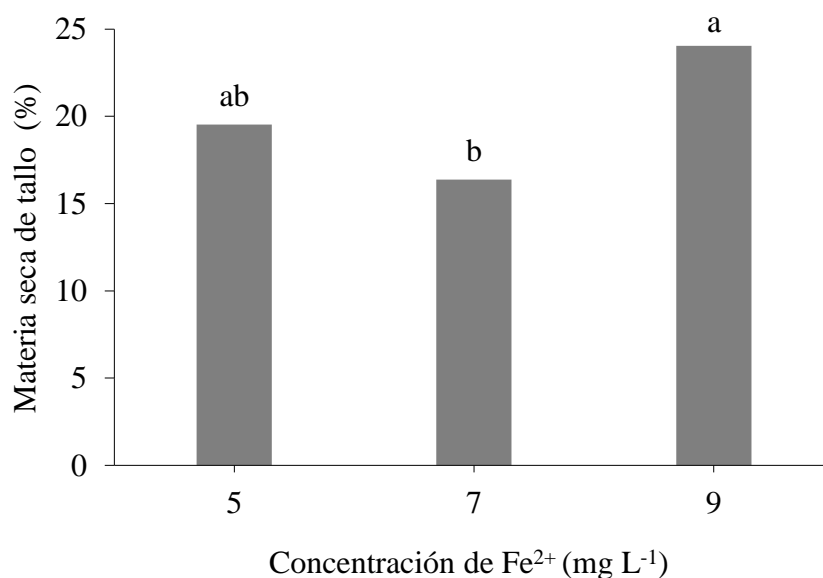


Figura 2. Porcentaje de materia seca destinada al tallo de toronjil morado por efecto del Fe^{2+} , producido en contenedor bajo cubierta plástica.

Resh, (2001) menciona que en la producción de cultivos es necesario poner énfasis en la fase vegetativa, para que estos se establezcan con tallos y hojas grandes, ya

que esto contribuirá al desarrollo de la superficie fotosintética y así la planta producirá azúcares, que más tarde serán usados en la producción de flores y frutos.

En cuanto a la acumulación de materia seca en las hojas, la combinación **6.0±0.1/5** incrementó 49.78 % esta variable con respecto al de las plantas nutridas con 5.5±0.1/7 y 6.5±0.1/5 (Cuadro 3). Con relación a la partición de materia seca, la combinación 6.5±0.1/5 indujo que las plantas destinaran la mayor cantidad de materia seca a la raíz respecto a todas las relaciones pH/Fe²⁺, en tanto que 6.0±0.1/9 fue para las hojas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la interacción del pH y la concentración de Fe²⁺ de la solución nutritiva en el área foliar, acumulación de materia seca en hojas y partición de materia seca en raíz y hojas de toronjil morado producido en contenedor bajo cubierta plástica.

pH/Fe ²⁺ (mg L ⁻¹)	AF (cm ²)	MSH (mg)	PMSR	PMSH
5.5 ± 0.1/5	231.54 b	1.34 abc	32.85 bcd	44.71 bcd
5.5 ± 0.1/7	90.39 cd	0.67 d	40.57 ab	44.57 bcd
5.5 ± 0.1/9	56.91 d	0.82 cd	26.00 cde	48.71 abc
6.0 ± 0.1/5	367.42 a	1.64 a	22.71 de	55.57 ab
6.0 ± 0.1/7	191.94 b	1.20 a-d	32.28 bcd	50.57 ab
6.0 ± 0.1/9	165.80 bc	1.55 ab	19.00 e	60.14 a
6.5 ± 0.1/5	85.04 cd	0.68 d	51.85 a	33.14 d
6.5 ± 0.1/7	429.16 a	1.57 ab	31.14 bcd	51.85 ab
6.5 ± 0.1/9	154.40 bc	1.04 bcd	36.42 bc	38.28 cd
DMS	90.96	0.54	11.75	11.96
C.V. (%)	43.09	43.30	33.71	23.50

Medias con la misma letra en columna no son estadísticamente diferentes según prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p \leq 0.05$). AF: área foliar; MSH: materia seca de hojas; PMSR: porcentaje de materia seca en raíz; PMSH: porcentaje de materia seca en hojas; DMS: diferencia mínima significativa; C.V.: coeficiente de variación.

Köpp *et al.* (2011) mencionan que los cultivos y las plantas nativas tienen un pH óptimo que varía en su mayoría de 5.5 a 6.5. Es necesario evitar un pH más bajo (< 5.5) para la solución de nutrientes, ya que los trastornos de nutrientes específicos y la inhibición del crecimiento se experimentan comúnmente fuera del rango convencional (Sambo *et al.*, 2019). Estudios realizados por Gillespie *et al.* (2020) coinciden con lo anterior ya que en cultivo hidropónico de *Ocimum basilicum* L. bajo efectos del pH de la solución

de nutrientes mostraron una disminución en los elementos P, Ca, Mg, S, B, Mn y Zn a medida que disminuía el pH en intervalos de 5.5 a 4.0. En cuanto a la absorción de Fe, se ha estudiado que las especies responden de manera diferente a la inhibición de la absorción y el transporte de Fe y, por lo tanto, presentan una sensibilidad y tolerancia diferentes (Xiao *et al.*, 2021). Incluso los cultivos establecidos *in vitro* se han beneficiado por la interacción del pH y Fe, como en el cultivo *in vitro* de *S. commixta* donde los efectos combinados de la fuente de Fe (Fe-EDTA) y el pH 5.70 del medio mejoraron su crecimiento y desarrollo.

El toronjil morado se comercializa en fresco o seco para la extracción de sus metabolitos secundarios de las inflorescencias, de uso común en la medicina tradicional; sin embargo, la mayor concentración se encuentra en las raíces, hojas y tallos (Carmona-Castro *et al.*, 2019). Por esta razón, en la presente investigación el interés se centró en la etapa vegetativa de la especie.

CONCLUSIÓN

En la producción de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica es importante considerar la interacción entre el pH y la concentración de Fe^{2+} en la solución nutritiva puesto que afectó significativamente el área foliar, la materia seca de las hojas y modificó la partición de la materia seca entre la raíz, el tallo y las hojas. También se debe tomar en cuenta el efecto del pH como factor principal debido a su influencia benéfica en el diámetro de tallo. Por lo anterior, es conveniente que la solución nutritiva tenga pH de 6.0 ± 0.1 y concentración de Fe^{2+} de 5 mg L^{-1} .

4.6 BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar G. G. y Trejo T. L. (2012)** Nutrición de Cultivos, 2da Eds. Editorial del Colegio de Postgraduados Universidad Autónoma Chapingo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Grupo Mundi-Prensa. España. Impreso en México. Guadalajara, Jalisco, México. 456 p.
- Bugarin M. R., A. Glavis-Spinola, P. Sánchez-García y D. García-Paredes (2002)** Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total del Tomate. *Terra Latinoamericana* 20:401-409.
- Carmona-Castro G., S. Estrada-Soto, J. Arellano-García, L. Arias-Duran, S. Valencia-Díaz y I. Perea-Arango (2019)** High accumulation of tilianin in *in-vitro* cultures of *Agastache mexicana* and its potential vasorelaxant action. *Molecular Biology Reports* 46:1107–1115, <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4570-4>
- Carrasco G., P. Ramírez, y H. Vogel (2007)** Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. *IDESIA* 25: 59-62, DOI: 10.4067/S0718-34292007000200007
- Carrillo-Galván G., R. Bye, L. E. Eguiarte, S. Cristians, P. Pérez, F. Vergara, M. Luna (2020)** Domestication of aromatic medicinal plants in Mexico: *Agastache* (Lamiaceae) an ethnobotanical, morpho-physiological, and phytochemical analysis *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 16:22, DOI:10.1186/s13002-020-00368-2
- Civeira G. (2010)** Efecto de la aplicación de compost de residuos sólidos municipales sobre las propiedades de los suelos y el establecimiento de plantas en ambientes peri-urbanos. *Chilean journal of agricultural research* 70:446-453, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392010000300012>
- Comisión Nacional Forestal (2010)** Plantas medicinales de la Farmacia Viviente del Cefofor: usos terapéuticos tradicionales y dosificación. Coordinación General

de Educación y Desarrollo Tecnológico Gerencia de Educación y capacitación.
Impreso en México. 188 p.

- Chávez C. C. Y. (1986)** Propagación vegetativa de toronjil morado (*Agastache mexicana* (HBK) Lint & Epling) y toronjil blanco (*Agastache* sp) por esquejes de tallo, bajo condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 127 p.
- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, V. Volke-Haller, V. Ordaz-Chaparro, J.L. Tirado-Torres y J. Sánchez-Escudero (2010)** Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28:219-229.
- Durán U. L., y H. C. Henríquez (2010)** El vermicompost: Su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía Mesoamérica* 21:85-93, DOI: 10.15517/am.v21i1.4914
- Gillespie D. P., C. Kubota y S. A. Miller (2020)** Efectos del pH bajo de la solución de nutrientes hidropónicos sobre el crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y la incidencia de enfermedades de la pudrición de la raíz de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) *American Society Horticultural Science HortScience* 55:1251-1258, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14986-20>
- García Marco S., Martínez, F. Yunta, L. Hernández A., J. Lucena (2006)** Effectives ethylenediamine-N-(o-hydroxyphenylacetic)-N´-(p-hydroxyphenylacetic acid o, pEDDHA) to supply Iron to plants. *Plant and soil* 279:31-40, <https://doi.org/10.1007/s11104-005-8218-5>
- García E., (1986)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guttman A., J. Khandurina, P. Budworth, H. Xu W., Y-M, Wang X (2004)** Analysis of combinatorial natural products by HPLC and CE. *PharmaGenomics* 4:32-42
- Hernández-Abreu O, M. Torres-Piedra, S. García-Jiménez, M. Ibarra-Barajas, R. Villalobos-Molina, R. Montes y S. Estrada-Soto (2012)** Dose-dependent antihypertensive determination and toxicological studies of tilianin isolated from *Agastache mexicana*. *Journal Ethnopharmacol* 146: 187-91, DOI:1016/j.jep.2012.12.029

- Jasso-Chaverría C. (2008)** Tecnología de producción de plantas medicinales y aromáticas. Plantas medicinales. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Luis, Santos Degollado 1015-A [En línea] Disponible en: [<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicacione/349.pdf>] (Consultado Mayo 2020).
- Jiang, Y., Li, Y., Zeng, Q., Wei, J., y Yu, H. (2017)** The effect of soil pH on plant growth, leaf chlorophyll fluorescence and mineral element content of two blueberries. *Acta Horticulturae* 1180: 269-276 DOI:10.17660/ActaHortic.2017.1180.36
- Köpp M. M., Passos, L. P., R. da Silva Verneue, F. J. da Silva Lédo, J. L.Meirelles Coimbra y A. Costa de Oliveira (2011)** Effects of nutrient solution pH on growth parameters of alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes. *Comunicata Scientiae* 2: 135-141.
- Koehors R., C. P. Laubscher, and P. A. Ndakidemi (2010)** Growth response of *Artemisia afra* Jacq. to different pH levels in a closed hydroponics system. *Journal of Medicinal Plants Research* 4:1617-1623, DOI:10.5897/JMPR09.465.
- Lucena J. J. (2009)** El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres* 56: 527-535
- López J. L., C. Baltazar, M. Torres, A. Ruíz, R. Esparza, y G. Rosas (2017)** Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Extracts of Mexican Medicinal Plants. Pérez Campos R., Contreras Cuevas A., Esparza Muñoz R. (Eds). Characterization of Metals and Alloys Springer. 157-166 p. DOI: 10.1007/978-3-319-31694-9_13
- Mendoza Hernández D., R. García De la Fuente, R. M. Belda, F. Fornes, y M. Abad. (2011)** Compostaje y vermicompostaje de residuos hortícolas: evolución de parámetros físicos y químicos durante el proceso. Consecuencias ambientales. *Actas Horticulturae* 59:22-27.
- Minchin P. E. H., M. R. Thorpe, J. F. Farrar y O. A. Koroleva (2002)** Source-sink coupling in young barley plants and control of phloem loading. *Journal of Experimental Botany* 53:1671-1676, <https://doi.org/10.1093/jxb/erf003>.

- Quevedo L. Yaotzin, (2015)** Plantas medicinales: un estudio de caso etnobotánica en la localidad de Ocoatepec, Municipio de Cuernavaca, Morelos. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias México, D.F. 204 p.
- Resh Howard. (2001)** Cultivos Hidropónicos. 5ª Ed. Multiprensa. Impreso en España. 558 p.
- Roosta R. Hamid y Rezaei Iman (2014)** Efecto del pH de la solución nutritiva en el Crecimiento vegetativo y reproductivo y características fisiológicas de la rosa Cv. 'Gran Gala' en Sistema hidropónico, *Revista de nutrición vegetal* 37:2179-2194, DOI:10.1080/01904167.2014.92037
- Robles-Aguilar A. A., Jiayin-Pang, J. A. Postma, S. D. Schrey, H. Lambers y N. D. Jablonowski (2019)** The effect of pH on morphological and physiological root traits of *Lupinus angustifolius* treated with struvite as a recycled phosphorus source. *Plant and Soil* 434: 65–78, DOI:10.1007/s11104-018-3787-2
- Rout R. Gyana y Sahoo Sunita (2015)** The effect of pH on morphological and physiological root traits of *Lupinus angustifolius* treated with struvite as a recycled phosphorus source. *Plant and Soil* 434: 65–78, <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3787-2>
- Santillán-Ramírez, Magali A., M. E. López-Villafranco, S. Aguilar-Rodríguez y A. Aguilar-Contreras (2008)** Estudio etnobotánico, arquitectura foliar y anatomía vegetativa de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* y *A. mexicana* ssp. *xolocotziana*. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 513-524
- Steiner A. A. (1984)** The universal nutrient solution. ISOSC. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 p.
- Steiner A. A. (1961)** Un método universal para preparar una solución nutritiva de una determinada composición deseada de plantas y suelos. *Plant and soil* 15:134-154.
- SAS Institute Inc. (1996)** Statistical Analysis System (SAS), release 6.12. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 220 p.

- Sambo P., C. Nicoletto, A. Giro, V. F. Pii Y., T. Mimmo, P. Lugli,.... y S. Cesco, (2019)** Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science* 10:923, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- Vu-Phong Lam, Sung-Jin Kim, B. Gwon Jeong, L. Jong Won, y P. Jong Seok (2020)** The Effects of Root Temperature on Growth, Physiology, and Accumulation of Bioactive Compounds of *Agastache rugosa*. *Agriculture* 10:162, DOI: 10.3390/agriculture10050162
- Xiao J., Y.G. Park, G. Guo y B. R. Jeong (2020)** Effect of Iron Source and Medium pH on Growth and Development of *Sorbus commixta* In Vitro. *International Journal of Molecular Sciences* 22:133, <https://dx.doi.org/10.3390/ijms22010133>
- Zielińska S., y A. Matkowski (2014)**. Phytochemistry and bioactivity of aromatic and medicinal plants from the genus *Agastache* (Lamiaceae). *Phytochemistry reviews* 13: 391-416. DOI 10.1007/s11101-014-9349-1



Figura 3. Crecimiento de plantas madre para experimentos.

a) Trasplante a suelo directo bajo invernadero (16 noviembre 2020), b) Crecimiento vegetativo (16 Enero 2021), c) Floración (16 Marzo 2021)

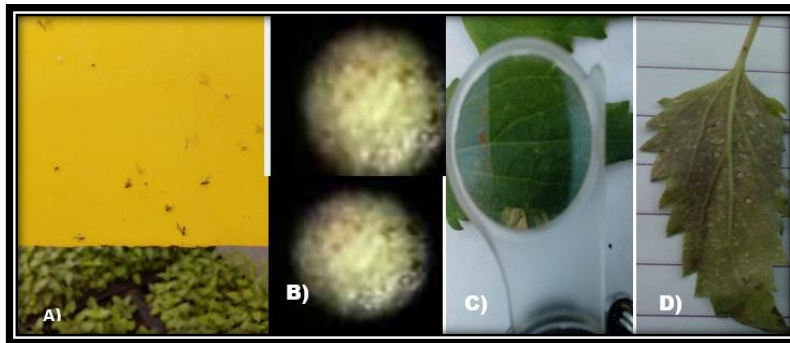


Figura 4. Presencia de plagas en el cultivo de toronjil morado bajo invernadero

A) Trampa amarilla para control de insectos, mosquitos del sustrato (*Sciaridae* sp), trips (*Tisanóptero* sp) y mosquita blanca (*Aleyrodidae* sp) B) Heces de trips en el envés de la hoja de toronjil, vista desde microscopio. C) Daño ocasionado en las hojas por mosquita blanca y trips D) presencia de manchas cloróticas moteadas y daño por raspaduras de trips.



Figura 5. Desarrollo experimento 1

5. CRECIMIENTO VEGETATIVO DE TORONJIL MORADO (*Agastache mexicana* ssp. *mexicana*) EN RESPUESTA A LA CONCENTRACIÓN IÓNICA TOTAL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue definir la concentración iónica total de la solución nutritiva que promueva el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca en *Agastache mexicana* ssp. *mexicana*. Se evaluaron siete soluciones nutritivas que variaron en la concentración iónica total: 40, 60, 80, 100, 120, 140 y 160 %. La solución base fue la solución nutritiva universal (Steiner, 1984). El diseño experimental fue completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento, en tanto que la unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro de 20.32 cm de ancho y 14.5 cm de alto con capacidad de 3.24 L. El sustrato fue una mezcla (v/v) de tezontle rojo (60 %), ocochal de pino (30 %) y polvillo de coco (10 %). Al trasplante se dio el riego con solución nutritiva, posteriormente dos con agua, así sucesivamente hasta concluir el experimento. Los resultados indicaron que en la producción de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica es importante considerar la concentración iónica total de la solución nutritiva debido a su influencia tanto en el área foliar como en la producción y partición de la materia seca. Las plantas nutridas con la solución al 160 % presentaron un incremento altamente significativo en el área foliar, materia seca de tallo, hojas y materia seca total. La partición de materia seca fue la siguiente: 31 % raíz, 30 % tallo y 39 % hojas.

Palabras clave: solución nutritiva universal Steiner, conductividad eléctrica, nutrición mineral, materia seca.

SUMMARY

The aim of this research was to define the total ionic concentration of the nutrient solution that promotes vegetative growth and the production of dry matter in *Agastache mexicana* ssp. *mexicana*. Seven nutritional solutions were evaluated that varied in the total ionic concentration: 40, 60, 80, 100, 120, 140 and 160 %. The base solution was the universal nutrient solution (Steiner, 1984). The experimental design were completely randomized with ten repetitions per treatment, while the experimental unit was a black polyethylene container 20.32 cm wide and 14.5 cm high with a capacity of 3.24 L. The substrate was a mixture (v/v) of red tezontle (60%), pine ocochal (30%) and coconut powder (10%). After the transplant, was irrigated with nutrient solution, later two irrigation with water, so on until the experiment was concluded. The results indicated that in the production of toronjil morado in a container under plastic cover, it is important to consider the total ionic concentration of the nutrient solution due to its influence both on leaf area, and on the production and partition of dry matter. The plants nourished with the 160 % solution showed a highly significant increase in the leaf area, stem and leaf dry matter and total dry matter. The dry matter partition was as follows: 31 % root, 30 % stem and 39 % leaves.

Index words: universal nutrient solution Steiner, electric conductivity, mineral nutrition, dry matter.

5.3 INTRODUCCIÓN

La solución nutritiva constituye uno de los aspectos más importantes en la obtención de productos vegetales de alta calidad (Sambo *et al.*, 2019). Con la nutrición pueden modificarse las características morfológicas y el crecimiento de las plantas (Villegas-Torres *et al.*, 2005). Las plantas tienen la habilidad de poder seleccionar la cantidad de los diversos iones que absorben. Esta absorción normalmente no es directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que existen; es más, según las especies, puede variar esta habilidad de seleccionar cada uno de los iones en particular (Resh, 2001). Estudios realizados en especies de *agastaches* extranjeros se basan en el ajuste de soluciones nutritivas para el crecimiento y acumulación de compuestos bioactivos. Vu-Phong *et al.* (2020) reportaron en el cultivo hidropónico de *Agastache rugosa* mediante la técnica de flujo profundo un incremento en crecimiento y contenido de compuestos bioactivos por la influencia de conductividad eléctrica (CE) $4.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ obtenida bajo el ajuste de la formulación propuesta por Hoagland, considerando las variaciones con relación a macro y micronutrientes y al manejo de la solución nutritiva Hoagland a la mitad para la aplicación a plántulas. Sung-Jin *et al.* (2017) analizaron la respuesta a diferentes soluciones nutritivas de formulaciones elaboradas por UOS: Universidad de Seoul; HES: Estación experimental en Japón; EVR: Centro europeo de vegetales R&D; OTS: Otsuka House en Japón. La conductividad eléctrica de OTS y HES fue de 1.3 y 1.2 dS m^{-1} , respectivamente, y UOS y EVR fueron de 1.0 dS m^{-1} . La solución nutritiva OTS 1.3 dS m^{-1} benefició el crecimiento y la acumulación óptima de compuestos bioactivos. En el cultivo hidropónico bajo invernadero de *Thymus vulgaris* L. se analizaron concentraciones iónicas totales ajustas al 50 y 100 % de la solución nutritiva propuesta por Steiner (1984); con una densidad de siembra mayor a la utilizada en campo y la solución nutritiva al 100 % se incrementó el contenido de aceite esencial y el crecimiento de la especie (Guerrero-Lagunes *et al.*, 2011).

Es necesario realizar propuestas para la nutrición mineral de *Agastache mexicana* que permitan conocer la respuesta de esta especie a diferentes concentraciones iónicas totales de soluciones nutritivas para conocer su demanda nutrimental.

El objetivo de esta investigación fue definir la concentración iónica total de la solución nutritiva que promueva el crecimiento vegetativo y la producción de materia seca en toronjil morado (*Agastache mexicana*), producido en contenedor bajo cubierta plástica.

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero con cubierta de polietileno blanco lechoso 30 % sombra, localizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México (18°58'51" N, 99°13'57" O, 1868 msnm). El clima de la región es semicálido-subhúmedo [A(C) w2 (w) ig], con temperaturas que oscilan entre 9 y 32° C, precipitación media anual de 1500 mm, lluvias intensas en verano y precipitaciones menores de 5% en invierno (García, 1986).

Establecimiento y manejo del experimento

Se utilizaron esquejes enraizados obtenidos de una población genéticamente uniforme, la cual se generó mediante propagación vegetativa a partir de una planta madre seleccionada en una población de 800 individuos, cada uno de ellos provenientes de semillas colectadas de toronjil morado del huerto de la Dirección de Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (18°58'53" N, 99°13'58.4" O).

Los esquejes enraizados, de 10 cm de longitud, se trasplantaron en contenedores de polietileno rojo de 14.5 cm (8 pulgadas) y 3.24 L de capacidad.

El sustrato se elaboró con una mezcla volumétrica de (60%) tezontle rojo de granulometría 0.5 -1.0±1 cm de diámetro, (30%) ocochal de pino granulometría ≤ 0.5 mm ± 1 mm y (10%) polvo de coco. Se seleccionó este sustrato en base a lo descrito por Cruz-Crespo *et al.* (2010) quienes mencionan que debido a la combinación de materiales orgánicos e inorgánicos existe la posibilidad de proporcionar a la planta condiciones que favorezcan el crecimiento. Al respecto, Mendoza *et al.* (2011) mencionan que materiales orgánicos como polvo de coco y corteza de pino se han utilizado con un tamaño de partícula de 0.5 mm con la finalidad de proporcionar una óptima capacidad de aireación, de retención de humedad y agua disponible. Civeira, (2010) y Durán y Henríquez (2010) indican que cuando el tamaño de partícula del material inorgánico es mayor a 1 mm de diámetro que el orgánico, la capacidad de aireación se incrementa, lo que facilita el transporte de nutrimentos y el desarrollo de raíces. El pH del sustrato fue de 6.71. El sustrato se humedeció con una solución del fungicida Cercobin® (2 mL·L⁻¹; i.a. Tiofanato metílico) y se solarizó 7 días con la finalidad de prevenir el ataque de fitopatógenos en la raíz. Antes del trasplante las macetas se sumergieron durante 10 min en una solución preparada con 2 mL·L⁻¹ del desinfectante Anibac® (i.a. cuaternario de amonio). Al momento del trasplante se dio un riego con una solución del desinfectante Anibac® (2 mL·L⁻¹). Al follaje se aplicó fungicida Oxicob 85® (i.a. Oxiclورو de cobre) en dosis de 1 mL·L⁻¹.

La nutrición de las plantas fue conforme a los tratamientos (Cuadro 4), durante todo su ciclo de cultivo que abarcó desde el trasplante hasta la aparición de la primera inflorescencia (10 ± 1 mm de longitud). En la preparación de las soluciones nutritivas se utilizaron fertilizantes altamente solubles (nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, fosfato monopotásico y sulfato de magnesio). A cada solución nutritiva se le adicionaron los micronutrimentos siguientes (en mg L⁻¹): H₃BO₃, 2.88; Mn, 0.502 (MnCl₂); Zn, 0.05 (ZnSO₄); Cu, 0.045 (CuSO₄); Mo, 0.010 (H₂MoO₄) y Fe, 5 (Fe-EDTA). El pH de la solución fue de 6±0.1, ajustándose con H₂SO₄.

Cuadro 4. Concentración iónica total de la solución nutritiva para la producción de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica.

Tratamiento	Concentración iónica total (%)
1	40
2	60
3	80
4 [¶]	100
5	120
6	140
7	160

[¶]Testigo.

Los riegos se realizaron cada tercer día de forma manual. Al momento del trasplante, el primer riego fue con solución nutritiva y los dos siguientes con agua, posteriormente con solución nutritiva seguidos de dos riegos con agua; este régimen se continuó hasta concluir el experimento. Se desconoce cuál es el mejor régimen para producir toronjil morado, pero Steiner (1961) señala que cuando se aplica la solución nutritiva en forma continua, las plantas pueden absorber iones a bajas concentraciones, pero si la concentración es demasiado baja existe la posibilidad de no cubrir las necesidades nutrimentales y en consecuencia se presenten síntomas de deficiencia. En el otro extremo de concentración, el consumo excesivo puede conducir a efectos tóxicos. Durante el experimento se registró la humedad relativa, intensidad luminosa y temperatura con un datalogger (Hobo®, Massachusetts, USA).

Diseño de tratamientos

Se tuvieron siete tratamientos correspondientes a cada una de las concentraciones evaluadas en el experimento. La solución nutritiva universal (Steiner, 1984) fue la base para realizar las modificaciones indicadas en el Cuadro 4. El diseño de tratamientos fue completamente al azar con siete repeticiones por tratamiento.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta evaluadas fueron las siguientes: contenido relativo de clorofila, diámetro de tallo, longitud de tallo, área foliar, volumen de raíz y materia seca de raíz, tallo y hojas. El contenido relativo de clorofila se midió con un SPAD-502 (Konica Minolta). La longitud del tallo se midió desde la base del tallo hasta el ápice con el uso de una regla graduada. El diámetro del tallo se midió con un calibrador vernier digital y se obtuvo de la base del tallo principal, a 2 cm por encima del sustrato. El área foliar se determinó con un integrador de área foliar (LI-COR LI-3100C). El volumen de raíz se determinó mediante la técnica de desplazamiento de agua, para ello se utilizó una probeta de 1000 ml con un volumen conocido de agua, la diferencia de volúmenes al introducir la raíz en el agua correspondió al volumen de este órgano; para obtener la materia seca de raíz, tallo y hojas estos órganos se colocaron en una estufa de circulación forzada de aire (LUZEREN, DHG9070A) a una temperatura de 72 °C durante 72 h y posteriormente se pesaron en una balanza digital (AND, EJ 2000).

Análisis estadístico

A los datos se les realizó el análisis de varianza con el programa SAS (Versión 6.12) y a los que mostraron diferencia estadística significativa se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p \leq 0.05$).

5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el experimento las variables ambientales promedio diurnas fueron las siguientes: temperatura 29.55 °C, humedad relativa (HR) de 41.49 % e intensidad luminosa de 2,766.90 Lux; mientras que en la noche: temperatura 15.78 °C y HR de 45.04 %. Es importante considerar las variables antes indicadas debido a su influencia sobre la respuesta de la planta a diferentes aspectos de la producción, como la nutrición.

No se manifestaron diferencias significativas en el contenido relativo de clorofila, variables morfológicas, y materia seca de raíz por efecto de las concentraciones de la solución nutritiva (Cuadro 5); los valores promedio fueron: 44.52 unidades SPAD, longitud de tallo: 48.37cm, diámetro de tallo: 4.34 mm, volumen de raíz: 40.82 ml, y materia seca de raíz:5.23 g. En cuanto al contenido relativo de clorofila (CRC), no se observó una tendencia clara sobre el efecto del CIT en el contenido del pigmento. Se esperaba que las plantas nutridas con la CIT más baja presentaran menos clorofila y que ésta se incrementara conforme la solución tuviera mayor cantidad de iones, entre ellos el $N-NO_3^-$, ya que la de 40 % tiene 4.8 mEq L⁻¹; 60 %, 7.2; 80 %, 9.6; 100 %, 12 (testigo); 120 %, 14.4; 140 %, 16.8 y 160 %, 19.2. La respuesta de la planta a la CIT en el aspecto de acumular más clorofila, y en otras variables de crecimiento, puede estar relacionada con la especie y la etapa fenológica. En este aspecto, Villegas-Torres *et al.* (2012b) indicaron efecto estadísticamente similar en CRC durante la fase de almácigo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) debido a la CIT. En este mismo orden de ideas, en liliis “Maru” cultivadas en contenedor, las CIT de la solución nutritiva tuvieron efecto parecido en la altura de la planta, diámetro y longitud de tallo, al igual que en el diámetro y longitud de botón (Villegas-Torres *et al.*, (2012c).

Cuadro 5. Respuesta del toronjil morado a la concentración iónica total de la solución nutritiva en contenedor bajo cubierta plástica

CIT %	CRC (SPAD)	LT (cm)	DT (mm)	VR (g)	MSR (g)
40	44.66 a	48.50 a	4.40 a	41.80 a	5.05 a
60	45.24 a	53.30 a	4.60 a	49.00 a	6.10 a
80	44.63 a	45.20 a	4.30 a	35.00 a	4.95 a
100 [†]	43.29 a	43.80 a	4.00 a	40.50 a	5.41 a
120	42.10 a	50.50 a	4.40 a	37.50 a	4.27 a
140	43.48 a	46.00 a	4.10 a	41.50 a	4.93 a
160	48.26 a	51.30 a	4.60 a	40.50 a	5.94 a
DMS	5.04	8.6	0.97	9.66	1.52
C.V. (%)	12.68	19.86	25.05	26.49	32.56

Medias con la misma literal en columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p \leq 0.05$). [†]Testigo; CIT: concentración iónica total de la solución nutritiva; CRC: contenido relativo de clorofila; LT: longitud de tallo; DT: diámetro de tallo; VR: volumen de raíz; MSR: Materia seca de raíz; DMS: diferencia mínima significativa; C.V.: coeficiente de variación.

Los datos para la variable área foliar mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), esta variable fue beneficiada en las plantas nutridas con la solución al 160 % de CIT (Figura 6), las cuales presentaron una media de 1,352.2 cm^2 , en tanto que el valor más bajo fue para las plantas de los tratamientos de 40 y 60 %. Las hojas de las plantas con mayor área foliar presentaron 4.5 cm de ancho y 10.5 cm de largo, además de mayor cantidad de tallos secundarios. Las plantas nutridas con CIT de 40 y 60 % tuvieron hojas con ancho y longitud de 3 y 4.5 cm, respectivamente. En plantas silvestres se ha reportado hojas ovalo-lanceoladas de 2-4 cm de ancho por 2-8 cm de largo (Ávila, 2013), por lo que los valores obtenidos en estos tratamientos fueron favorables.

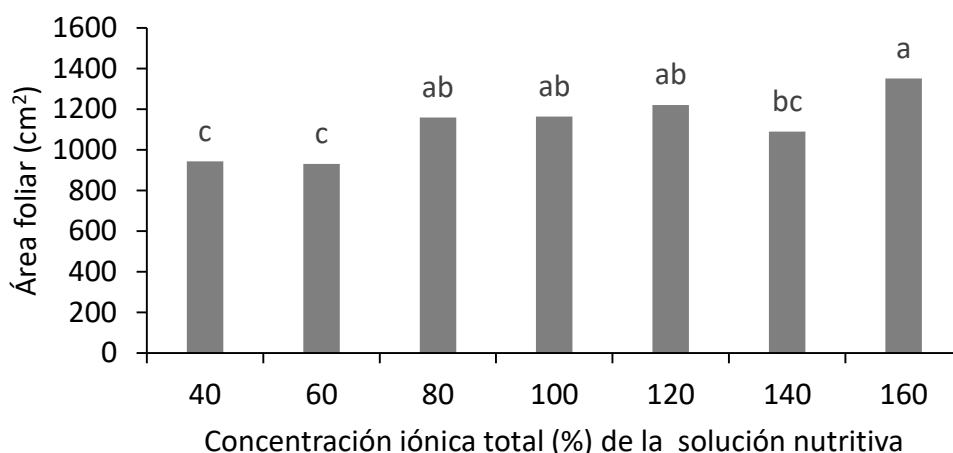


Figura 6. Área foliar de toronjil morado por efecto de la concentración iónica total de la solución nutritiva.

Se manifestaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en materia seca de tallo, materia seca de hoja y materia seca total (Cuadro 6)

En relación con la producción de materia seca en tallo, fue igual nutrir a las plantas con 140 y 160 % siendo 57.04 % más que en el testigo (100 % de CIT). Las hojas aumentaron sustancialmente su materia seca con 160 % de CIT; en este caso fue 66.51 % con respecto a 40 %. Finalmente, la materia seca de la planta completa fue 41.72 % mayor que la producida por las plantas nutridas con 40 % de CIT. Los datos

anteriores indican que la CIT de 160 % fue la más adecuada para producir toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica debido al incremento significativo en la producción y acumulación de materia seca, lo cual es favorable porque esta especie se comercializa tanto en fresco como en seco. La respuesta observada es modificada por la especie, ya que Villegas-Torres *et al.* (2012a) reportaron en *Cyclamen persicum* mayor acumulación de materia seca en todos los órganos al ser nutridas con 70 % de CIT en lugar de 40 y 100 %.

En cuanto a la partición de materia seca de raíz y de hoja, tuvieron una respuesta altamente significativa ($p \leq 0.01$) por la CIT y en relación con la partición de materia seca de tallo, se alteró significativamente ($p \leq 0.05$) la respuesta del toronjil debido a la CIT. Las plantas de toronjil nutridas con 160 % destinaron 31 % a la raíz, 30 % al tallo y 39 % a las hojas (Cuadro 6). El hecho de concentrar la materia seca en tallos y hojas es favorable para la comercialización de la especie en estado seco.

Cuadro 6. Producción y partición de materia seca de plantas de toronjil morado en respuesta a la concertación iónica total de la solución nutritiva.

CIT (%)	MST (g)	MSH (g)	MSTotal (g)	PMSR	PMST	PMSH
40	3.88 dc	4.30 d	13.23 c	38.00 a	29.00 abc	33.00 bc
60	5.31 ab	4.81 dc	16.22 ab	36.80 ab	33.10 a	30.30 c
80	4.08 bcd	5.74 bc	14.77 bc	33.80 abc	26.90 bc	39.10 a
100 [†]	3.55 d	5.21 cd	14.17 bc	38.20 a	25.30 c	36.40 ab
120	4.88 abc	5.32 cd	14.47 bc	29.40 c	33.40 a	37.20 ab
140	5.50 a	6.35 ab	16.78 ab	29.70 c	32.50 ab	38.10 a
160	5.65 a	7.16 a	18.75 a	31.40 bc	30.00 abc	38.70 a
DMS	1.32	1.02	2.89	6.41	6.03	4.25
C.V. (%)	31.54	20.65	20.92	21.18	22.47	13.17

Medias con la misma literal en columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de medias LSD ($p \leq 0.05$). [†]Testigo; CIT: concentración iónica total de la solución nutritiva; MST: materia seca de tallo; MSH: materia seca de hojas; MSTotal: materia seca de la planta completa; PMSR: partición de materia seca en raíz; PMST: partición de materia seca en tallo; PMSH: partición de materia seca en hojas; DMS: diferencia mínima significativa; C.V.: coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

En la producción de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica es importante considerar la concentración iónica total de la solución nutritiva debido a su influencia en el área foliar, como en la producción y partición de la materia seca.

Las plantas de toronjil morado nutridas con la solución al 160 % de concentración iónica total presentaron incremento altamente significativo, en el área foliar, materia seca de tallo, hojas y total. La partición de materia seca fue la siguiente: 31 % raíz, 30 % tallo y 39 % hojas.

5.6 BIBLIOGRAFÍA

- Ávila R. N. (2013)** Determinación del mecanismo de acción relajante del aceite esencial de toronjil morado (*Agastache mexicana*) en la musculatura lisa bronquial de cobayo. Tesis de Licenciatura. Química Farmacéutica Bióloga. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México, D. F. 55 p.
- Carrillo-Galván G., R. Bye, L. E. Eguiarte, S. Cristians, P. Pérez, F. Vergara y M. Luna (2020)** Domestication of aromatic medicinal plants in Mexico: *Agastache* (Lamiaceae) an ethnobotanical, morpho-physiological, and phytochemical analysis. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 16:22, DOI: 10.118/s13002-020-00368-2
- Civeira G. (2010)** Efecto de la aplicación de compost de residuos sólidos municipales sobre las propiedades de los suelos y el establecimiento de plantas en ambientes peri-urbanos. *Chilean journal of agricultural research* 70:446-453, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392010000300012>
- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, V. Volke-Haller, V. Ordaz-Chaparro, J. L. Tirado-Torres y J. Sánchez-Escudero (2010)** Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28:219-229.
- Durán U. L., y H. C. Henríquez (2010)** El vermicompost: Su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía Mesoamérica* 21:85-93, DOI: 10.15517/am.v21i1.4914
- Díaz F. A., C. F. Ortiz, C. M. Lozano, S. A. Aguado y C. O. Grageda (2013)** Growth, mineral absorption and yield of maize inoculated with microbe strains. *African Journal of Agricultural Research* 8:3764-3769. DOI: 10.5897/AJAR2012.6662
- Guerrero-Lagunes L. A., L. del M. Ruiz-Posadas, M. d. I. N. Rodríguez-Mendoza, M. Soto-Hernández y A. Castillo-Morales (2011)** Efecto del cultivo hidropónico de tomillo (*Thymus Vulgaris L.*) en la calidad y rendimiento del aceite esencial. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17:141-149

- García, E. 1986.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mendoza-Hernández D., R. García De la Fuente, R. M. Belda, F. Fornes, y M. Abad. (2011)** Compostaje y vermicompostaje de residuos hortícolas: evolución de parámetros físicos y químicos durante el proceso. Consecuencias ambientales. *Actas Horticulturae* 59:22-27.
- Resh Howard. (2001)** Cultivos Hidropónicos. 5ª Ed Multiprensa. Impreso en España.558p
- Sambo P., C. Nicoletto, A. Giro, V. F. Pii Y., T. Mimmo, P. Lugli, y S. Cesco, (2019)** Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science* 10:923, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>
- SAS Institute. (1999)** SAS/STAT user's guide. Version 6.12 SAS. Cary, NC, USA. 220 p.
- Steiner, A. A. (1984)** The universal nutrient solution. ISOSC. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands. pp. 633-649 p.
- Sung-Jin K., P. Jai Eok, B. Gwon Jeong, K. Bashistha Kumar, L. Vu Phong (2018)** High Electrical Conductivity of Nutrient Solution and Application of Methyl Jasmonate Promote Phenylpropanoid Production in Hydroponically Grown *Agastache rugosa*. *Horticultural Science and Technology* 841-852 p.
- Villegas-Torres O. G., P. Sánchez-García, G. A. Baca-Castillo, M. N. Rodríguez-Mendoza, C. Trejo, M. Sandoval-Villa y E. Cárdenas-Soriano (2005)** Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*. 23: 49-56.
- Villegas-Torres O. G., C. M. A. Durán, S. Clemente-Hernández, M. Andrade-Rodríguez y I. Alia-Tejacal (2012a)** Soluciones nutritivas y frecuencia de riego en la producción de ciclamen (*Cyclamen persicum*) "halios red scarlet" cultivado en contenedor. pp. 73-87. In: Acosta-Durán C. M., O. G. Villegas-Torres, I. Alia-Tejacal, M. Andrade-Rodríguez, D. G. Sánchez, V. L. Martínez. Tópicos selectos de horticultura. Trillas. México.

Villegas-Torres O. G., C. M. A. Durán, H.S. Nava, J. Garza-Cardona, M. Andrade-Rodríguez y A. D. Hernández- Fuentes (2012b) Concentración de la solución nutritiva en la producción de plántula de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) “salamanca” pp. 232-45. *In*: Acosta-Durán C. M., O. G. Villegas-Torres, I. Alia-Tejacal, M. Andrade-Rodríguez, D. G. Sánchez, V. L. Martínez. Tópicos selectos de horticultura. Trillas. México.

Villegas-Torres O. G., C. M. A. Durán, H. Sotelo- Nava, E. A. Mondragón, M. Andrade-Rodríguez, A. D. Hernández- Fuentes y S. M. Limón (2012c) Concentración iónica total de la solución nutritiva y sustratos en la producción de lilis (*Lilium sp.*) pp. 55-71. *In*: Acosta-Durán C. M., O. G. Villegas-Torres, I. Alia-Tejacal, M. Andrade-Rodríguez, D. G. Sánchez, V. L. Martínez. Tópicos selectos de horticultura. Trillas. México.

Vu-Phong Lam, Sung-Jin Kim, B. Gwon Jeong, L. Jong Won, y P. Jong Seok (2020) The Effects of Root Temperature on Growth, Physiology, and Accumulation of Bioactive Compounds of *Agastache rugosa*. *Agriculture*10:162, DOI: 10.3390/agriculture10050162



Figura 7. Crecimiento del toronjil una semana después del trasplante.



Figura 8. Apariencia de los tratamientos

Las plantas comenzaron a desarrollarse rápidamente a partir de la tercera semana después del trasplante.



Figura 9. Crecimiento de las plantas de toronjil debido a los tratamientos.



Figura 10. Plantas nutridas con 160 % de concentración iónica total.

Se observan las espigas florales con las primeras inflorescencias

6. PERSPECTIVAS

Los metabolitos secundarios presentes en la especie *A. mexicana* ssp. *mexicana*, se encuentran en mayor cantidad en raíces, hojas y tallos (Carmona-Castro *et al.*, 2019). Los resultados de esta investigación permitieron determinar el pH, la concentración de hierro y la concentración iónica total de la solución nutritiva que favorecieron el crecimiento vegetativo y producción de materia seca en los diferentes órganos de la planta, sin embargo, es conveniente definir el efecto de las variables antes mencionadas en el perfil de los compuestos bioactivos de interés farmacológico.