

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Respuesta de *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* a la relación nitrato: calcio de la solución nutritiva

Response of *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* to the nitrate: calcium relationship of the nutritive solution

Authors/Autores: López-Rodríguez, M.G., Villegas-Torres, O. G., Estrada-Soto, S. E., Andrade-Rodríguez, M., Perea-Arango, I., Chávez-García, J. A., Martínez-Fernández, E.

ID: e1848

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1848>

Received/Fecha de recepción: December 16th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: May 21th 2025

Available online/Fecha de publicación: June 06th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: López-Rodríguez, M.G., Villegas-Torres, O. G., Estrada-Soto, S. E., Andrade-Rodríguez, M., Perea-Arango, I., Chávez-García, J. A., Martínez-Fernández, E. (2025). Response of *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* to the nitrate: calcium relationship of the nutritive solution. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1848. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1848>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Respuesta de *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* a la relación nitrato: calcio de la solución nutritiva

Response of *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* to the nitrate: calcium relationship of the nutritive solution

Nutrición mineral en *Agastache mexicana*/ Mineral nutrition in *Agastache mexicana*

López-Rodríguez, M.G.¹ (<https://orcid.org/0000-0003-4503-1030> ) , Villegas-Torres, O. G.^{1*} (<https://orcid.org/0000-0001-9885-3906> ) , Estrada-Soto, S. E.² (<https://orcid.org/0000-0002-5850-1321> ) , Andrade-Rodríguez, M. ¹ (<https://orcid.org/0000-0003-0757-742X> ) , Perea-Arango, I.³ (<https://orcid.org/0000-0003-1944-4739> ) , Chávez-García, J. A.¹ (<https://orcid.org/0000-0002-1480-8401> ) , Martínez-Fernández, E.⁴ (<https://orcid.org/0000-0002-9232-7988> ) .

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos Av. Universidad núm. 1001, Chamilpa, CP. 62209 Cuernavaca, Morelos, México,

²Facultad de Farmacia, Universidad Autónoma del Estado de Morelos Av. Universidad núm. 1001, Chamilpa, CP. 62209 Cuernavaca, Morelos, México,

³Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos Av. Universidad núm. 1001, Chamilpa, CP. 62209 Cuernavaca, Morelos, México

⁴Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos Av. Universidad núm. 1001, Chamilpa, CP. 62209 Cuernavaca, Morelos, México

*Corresponding Author:

Oscar Gabriel Villegas-Torres. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos Av. Universidad núm.1001, Chamilpa, CP. 62209 Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono: 52 777 180 6252. E-mail:

oscar.villegas@uaem.mx

RESUMEN

El toronjil morado (*Agastache mexicana* subsp. *Mexicana*) es una planta medicinal, utilizada en la industria medicinal y farmacéutica; sin embargo, se desconocen sus requerimientos nutrimentales para su producción. El objetivo de la investigación fue evaluar diferentes relaciones $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ de la solución nutritiva en etapa vegetativa del toronjil morado con la finalidad de determinar su efecto en el crecimiento y la producción de materia seca. Se evaluaron tres concentraciones de NO_3^- (10, 12 y 14 mEq L⁻¹) y de Ca^{2+} (7, 9 y 11 mEq L⁻¹), en arreglo factorial completo de tratamientos. La Solución Nutritiva Universal (Steiner, 1984) fue la base para realizar las modificaciones de las relaciones $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$, se consideraron 10 repeticiones por tratamiento y una distribución completamente al azar. La unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro (15.14 L), con grava de tezontle rojo como sustrato, con una planta por contenedor. Los resultados indicaron que las soluciones produjeron una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) en las

variables evaluadas que fueron: volumen de raíz, longitud de tallo principal, diámetro de tallo principal, área foliar, contenido relativo de clorofila, clorofila *a*, *b*, total, materia seca de raíz, tallo y hojas. La relación $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ de 10:9 mEq L⁻¹ benefició el contenido relativo de clorofila, clorofila *a*, *b*, materia seca de tallo, materia seca total y optimizó los costos de fertilización con respecto a la relación de 10:7 mEq L⁻¹, mientras que la relación 14:9 mEq L⁻¹ no benefició al crecimiento de la planta. La relación $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ de 10:9 mEq L⁻¹ de la solución nutritiva, permitió una mejor asimilación de nitrógeno y calcio, lo que condujo a un crecimiento favorable y por lo tanto mayor producción de materia seca.

PALABRAS CLAVE

Planta medicinal, Nutrición mineral, Cultivo en contenedor, Cultivo semi hidropónico, Materia seca.

ABSTRACT

Agastache mexicana subsp. *mexicana* is a medicinal plant used in the pharmaceutical and medicinal industry; however, its nutritional requirements for its production are unknown. Therefore, the current investigation aimed to evaluate different $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ ratios of the nutrient solution in the vegetative stage of the *A. mexicana* to determine its effect on growth and dry matter production. Three concentrations of NO_3^- (10, 12, and 14 mEq L⁻¹) and Ca^{2+} (7, 9, and 11 mEq L⁻¹) were assessed, in a complete factorial arrangement of treatments. The Universal Nutrient Solution (Steiner, 1984) was the basis for the modifications of the $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ ratios, 10 repetitions per treatment and a completely random design were considered. The experimental unit was a black polyethylene container (15.14 L), with red tezontle gravel as substrate, with one plant per container. The results indicated that the solutions produced a statistically significant difference ($p \leq 0.05$) in the evaluated variables which were: root volume, main stem length, main stem diameter, leaf area, relative chlorophyll content, chlorophyll *a*, *b*, and total, root, stem and leaf dry matter. The $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ ratio of 10:9 mEq L⁻¹ promoted the relative chlorophyll content, chlorophyll *a*, *b*, stem dry matter, total dry matter and optimized fertilization costs with respect to the 10:7 mEq L⁻¹ ratio, while the 14:9 mEq L⁻¹ ratio obtained the lowest values in the evaluated variables. The $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ ratio of 10:9 mEq L⁻¹ of the nutrient solution allowed better assimilation of nitrogen and calcium, which led to favorable growth and therefore greater dry matter production.

KEYWORDS:

Medicinal plant, Mineral nutrition, Container cultivation, Semi-hydroponic cultivation, Dry matter.

Introducción

El toronjil morado (*Agastache mexicana* subsp. *mexicana*) es una planta herbácea aromática, nativa de México, crece de forma silvestre en bosques de pino-encino, se concentra en todo el eje Neovolcánico del centro de México, especialmente en la región del volcán Popocatepetl, en el Municipio de Ozumba, Estado de México (Edomex), y en el Condado de Milpa Alta, Ciudad de México (CDMX). La especie se distribuye en los estados de Guanajuato, Michoacán, Puebla, Querétaro, Hidalgo, Veracruz, Chihuahua, Morelos y Tlaxcala (Martínez-Gordillo *et al.*, 2017; Palma-Tenango *et al.*, 2021). Su importancia socioeconómica se debe a su demanda como producto medicinal, principalmente por sus actividades biológicas como antiaterogénicas, antiinflamatorias, y sus efectos antihipertensivos, antidiabéticos y vasorrelajantes (Carrillo-Galván *et al.*, 2020). Además, la medicina popular lo recomienda para síntomas reumáticos, tratamiento del asma, afecciones gastrointestinales como el dolor de estómago, entre otros. Los antecedentes etnomédicos refieren diferentes dosis de consumo donde generalmente se utiliza en seco. La parte de la planta utilizada principalmente son hojas, flores, y con poca frecuencia las raíces. El modo de preparación puede ser cocimiento, infusión, té y en seco (polvo) vía oral. En dosis de 6 g. de planta por litro de agua, o una cucharada por día, hervido hasta que el “agua pinte”, sólo o mezclado con otras plantas como el hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), tila (*Ternstroemia pringlei* (Rose) Standl.), toronjil blanco (*Agastache mexicana* subsp. *xolocotziana*), Artemisa (*Artemisia absinthium* L.) entre otras (Archundia, 2005; Monroy-Ortiz & Castillo-España 2007; Santillán-Ramírez *et al.*, 2008; CONAFOR, 2010). 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, desde entonces el modo de consumo es muy amplio (Linares & Bye, 2013). Estudios fitoquímicos y farmacológicos han validado todo este conocimiento, y se ha demostrado que las diferentes actividades biológicas mencionadas anteriormente son debido a dos principales clases de compuestos bioactivos: flavonoides como acacetina, tilianina y hesperitina, y

terpenoides como monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos triterpenos, incluidos los ácidos ursólicos, oleanólico, corosólico y maslínico. Además, no se han mostrado efectos toxicológicos (Hernández-Abreu *et al.*, 2012; Estrada-Reyes *et al.*, 2014; Flores-flores *et al.*, 2016; Carmona-Castro *et al.*, 2019; Cruz-Torres, *et al.*, 2023).

Debido a estas propiedades potenciales para su uso en la industria farmacéutica y otras industrias medicinales, se requiere de la domesticación de la especie ya que el material vegetal cultivado permite un control en la cadena de suministro y una menor variación química de compuestos bioactivos (Najar *et al.*, 2019). Sin embargo, los estudios para esta especie se han centrado en el conocimiento de sus propiedades fitoquímicas, farmacológicas, etnomédicas, etnobotánicas y se desconocen los requerimientos nutrimentales para su cultivo (Palma-Tenango *et al.*, 2021).

En el cultivo de plantas medicinales la nutrición mineral permite tener una alta respuesta productiva respecto al crecimiento vegetativo y materia seca. La deficiencia o exceso de nutrientes perjudica procesos como la fotosíntesis, respiración, asimilación y transporte nutricional, procesos anabólicos y catabólicos de aminoácidos y proteínas, estos daños también se verán reflejados en la composición química de moléculas bioactivas (Xie *et al.*, 2019; He-Chao *et al.*, 2020; de Oliveira *et al.*, 2021). La fertilización nitrogenada en la fase de crecimiento vegetativo es indispensable en la nutrición de las plantas, ya que el nitrógeno (N-NO_3^- ; N-NH_4^+) es requerido para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Larios-González *et al.*, 2021). También aumenta el área foliar y materia seca de hojas, además de contribuir en la activación de enzimas para la biosíntesis de numerosos compuestos de los aceites esenciales, lo que mejora el rendimiento en las plantas aromáticas (Nurzyńska-Wierdak, 2013). La relevancia del N en la planta radica en que forma parte de la estructura de las proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y clorofila, y es esencial para la fotosíntesis (Ontiveros-Capurata *et al.*, 2022).

Con relación al calcio (Ca^{2+}), el antagonismo con K^+ , Mg^{2+} y NH_4^+ puede disminuir sustancialmente su absorción, dependiendo de la concentración relativa en la solución nutritiva, pero su absorción es estimulada por NO_3^- (Torres-Olivar *et al.*, 2015); además, es componente de paredes y membranas celulares, regula la presión osmótica, modifica selectivamente el transporte de cationes a través de la membrana, regula el transporte hormonal y afecta la actividad enzimática (Baran, 2021). En este sentido, el balance óptimo

en las relaciones entre macronutrientes es fundamental para tener mayor eficiencia en la absorción de estos y así obtener una mejor producción. Una mayor concentración de nitrógeno en el suelo puede promover mayor crecimiento vegetal; sin embargo, es necesario tener un manejo correcto del balance entre aniones y cationes en la SN para la mayor respuesta de la planta (Torres-Olivar *et al.*, 2018; Lara-Herrera *et al.*, 2023). Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar diferentes relaciones $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ de la solución nutritiva en etapa vegetativa del toronjil morado con la finalidad de determinar su efecto en el crecimiento y la producción de materia seca.

Material y métodos

El experimento se desarrolló en un invernadero con cubierta de polietileno blanco 30 % sombra, en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18° 58' 51" N, 99° 13' 57" W, y altitud de 1,868 masl) en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México, en el periodo de junio a septiembre del 2022.

Material vegetal

Se recolectaron semillas 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" W), mismas que fueron sembradas en charolas de polietileno de 50 cavidades, y una vez emergidas las plántulas se regaron con solución nutritiva Steiner (1984). Al final se obtuvo una población de 800 plantas adultas cultivadas, de las cuales se seleccionaron tres individuos sobresalientes (de manera visual) por su crecimiento en altura, diámetro de tallo, capacidad de generar tallos secundarios y área foliar. La muestra fue identificada y depositada por el curador M. en C. Gabriel Flores Franco en el herbario del Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (HUMO) (voucher No 39795). Las tres plantas seleccionadas fungieron como plantas madre para la generación de esquejes de 12 cm de longitud que se utilizaron como material vegetal, la fase de almácigo tuvo su propio manejo agronómico y no fue motivo de evaluación. Esta sección se realizó debido que hasta el momento no se han reportado que se comercialicen semillas o plántulas de toronjil morado híbridas o mejoradas.

Unidad experimental

La unidad experimental fue un contenedor de polietileno negro (15.14 L) con tezontle rojo de granulometría $0.5-1.0 \pm 1$ cm de diámetro como sustrato considerado químicamente

inerte (Ojodeagua *et al.*, 2008), donde se colocó una planta de toronjil morado de 12 cm de altura, previamente enraizada. El trasplante se hizo cuando las raíces del esqueje llenaron el cepellón de la cavidad de la charola.

Tratamientos y diseño experimental

Se generaron nueve tratamientos como resultado de tres niveles de concentración de NO_3^- (10, 12 y 14 mEq L^{-1}) y tres de Ca^{2+} (7, 9 y 11 mEq L^{-1}). La concentración iónica total de la solución nutritiva fue al 100 %. El diseño experimental fue completamente al azar, con 10 repeticiones por tratamiento. El tratamiento testigo consistió en la combinación propuesta por Steiner (1984), donde se considera la relación NO_3^- 12 mEq L^{-1} y Ca^{2+} 9 mEq L^{-1} (tratamiento 5), la concentración total de aniones y de cationes en 20 mEq L^{-1} , respectivamente (Tabla 1). El experimento se evaluó durante 90 días, desde el trasplante hasta la aparición de inflorescencias en el 90 % de los tallos.

Tabla 1. Tratamientos para las relaciones mutuas entre NO_3^- : Ca^{2+} de la Solución Nutritiva Universal (Steiner, 1984) al 100 %, para el cultivo semi hidropónico de *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* bajo invernadero.

Tratamiento	Concentración relativa de iones (mEq.L ⁻¹)					
	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1	10.00	1.25	8.75	8.27	7.00	4.73
2	10.00	1.25	8.75	7.00	9.00	4.00
3	10.00	1.25	8.75	5.73	11.00	3.27
4	12.00	1.00	7.00	8.27	7.00	4.73
5 (T)	12.00	1.00	7.00	7.00	9.00	4.00
6	12.00	1.00	7.00	5.73	11.00	3.27
7	14.00	0.75	5.25	8.27	7.00	4.73
8	14.00	0.75	5.25	7.00	9.00	4.00
9	14.00	0.75	5.25	5.73	11.00	3.27

T= Control de tratamiento

Preparación de las soluciones nutritivas

Los fertilizantes utilizados fueron altamente solubles (nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, fosfato monopotásico y sulfato de magnesio); además, en cada tratamiento se incorporaron los micronutrientes: Fe, 5 mg L^{-1} (fuente Fe-EDTA); H_3BO_3 , 2.88 mg L^{-1} ; Mn, 0.502 mg L^{-1} (MnCl_2); Zn, 0.05 mg L^{-1} (ZnSO_4); Cu, 0.045 mg L^{-1} (CuSO_4); Mo, 0.01 mg L^{-1} (H_2MoO_4). Todos los materiales que se utilizaron, así como el material vegetativo se desinfectaron con productos orgánicos. Las soluciones nutritivas se

prepararon con agua corriente, previo al ajuste de las soluciones, se analizó el agua en su contenido químico y dureza, en laboratorio de suelo, con certificación ER-0223/2020, ISO 9001:2015. Se ajustó el pH a 6 con H_2SO_4 (1M) y se suministraron mediante un sistema de riego por goteo automatizado con gotero autocompensado Netafilm®, con caudal de 8 L h^{-1} , se programaron siete riegos con temporizador, de 1 min cada riego durante la primera semana después del trasplante, posteriormente el tiempo de riego aumentó a 2 min conforme la planta fue requiriendo agua para su crecimiento. Se calculó el costo de la solución 10:9 y 14:7 considerando el precio por bulto de los siguientes fertilizantes comerciales: Calcinit®, NKS®, SOP®, Sulmag®, MAP®, se consideraron los gramos que se utilizaron en 450 litros y se extrapoló a un costo por litro para 1,100 litros de solución.

Variables evaluadas

Las variables de respuesta fueron volumen de raíz, medida por el método de desplazamiento de agua, que se describe a continuación: en una probeta de 1000 ml con una cantidad conocida de agua se sumergió la raíz completa; la diferencia entre el volumen final y el inicial fue el volumen de raíz en centímetros cúbicos. Longitud de tallo principal, medido con flexómetro (Pretul®) en centímetros, desde la base del tallo principal hasta el ápice del tallo más largo; diámetro de tallo principal en milímetros, se tomó a partir de 2 cm por encima del sustrato mediante el uso de vernier digital (Stainless Hardened®); área foliar en centímetros cuadrados, cuantificada con un integrador de área foliar (LI-COR LI3100C), se consideraron todas las hojas de cada planta por tratamiento; contenido relativo de clorofila, con un medidor de clorofila portátil SPAD 502 Plus Spectrum (Minolta®), tomando el promedio de tres hojas de vida intermedia; clorofila *a*, *b* y total, mediante el método espectrofotométrico a longitud de onda 645 y 663 nm, se usó un espectrofotómetro GENESYS 10S UV empleando la metodología propuesta por Rodés & Collazo (2006), se tomó una muestra de cuatro hojas por tratamiento y se midió el contenido relativo de clorofila, posteriormente de cada tratamiento se tomó una muestra de 0.1 g de tejido fresco de hojas, se adicionaron 10 mL de acetona al 80 % fría y se maceró por 30 s a 14000 rpm utilizando un ULTRA TURRAX T8 (IKA®). Las muestras se pasaron por papel filtro y se almacenaron en viales ámbar hasta su evaluación. Como blanco se utilizó acetona al 80 % y se utilizaron celdas de cuarzo rectangulares de 10 mm (Thomas Scientific) que se limpiaron con agua destilada entre cada muestra evaluada.; peso de materia seca de raíz, tallo y hojas, en gramos con una balanza analítica, previo secado en estufa de convección

mecánica a temperatura de 70 °C por 72 h.

Al final del experimento se realizó el análisis nutrimental en raíz y vástago de los tratamientos NO_3^- 10 mEq L⁻¹ y Ca^{2+} 9 mEq L⁻¹ y NO_3^- 14 mEq L⁻¹ y Ca^{2+} 9 mEq L⁻¹, en un laboratorio de suelos con certificación ER-0223/2020, ISO 9001:2015.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se estudiaron con análisis de varianza mediante el programa SAS (versión 9.0), a las variables que presentaron efecto de tratamientos, se les realizó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

El análisis de varianza realizado a las variables de crecimiento vegetativo, indicó que al menos una solución nutritiva ejerció diferencias estadísticamente significativas al resto de las soluciones ($p \leq 0.05$) en el contenido relativo de clorofila, clorofila *a*, *b* y total, volumen de raíz, longitud y diámetro de tallo, y área foliar. En el contenido relativo de clorofila, la solución nutritiva con la relación 10:9 NO_3^- : Ca^{2+} generó el valor más alto de lecturas SPAD con 51.62, y la relación 14:9 obtuvo el valor más bajo con 46.180. El contenido relativo de clorofila es un indicador entre la relación del grado de abastecimiento y disponibilidad de nutrimentos y se relaciona con la cantidad de N en la planta, que se va modificando de acuerdo con la fase fenológica del cultivo (Juárez-Rosete *et al.*, 2007; Kalaji *et al.*, 2017). La respuesta observada en el toronjil morado, fue que al aumentar el NO_3^- a 14 mEq L⁻¹ disminuyeron las lecturas SPAD a 46.180 contrario a lo reportado por Ontiveros-Capurata *et al.* (2022) en el cultivo de Albahaca (*Ocimum basilicum*), donde al aumentar el contenido del NO_3^- a 12 mEq L⁻¹, el contenido relativo de clorofila aumentó a 52.70 y con 16 mEq L⁻¹ a 56.80, lo que sugiere que esta especie está asimilando el nitrógeno a concentraciones más altas para su crecimiento; sin embargo para el toronjil, se observó que con un aporte de nitrógeno de 10 mEq L⁻¹ la lectura spad fue de 51.62, lo que podría ser suficiente para mantener su crecimiento sin requerir altas concentraciones de NO_3^- , esto se le podría atribuir a una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno por su interacción con el calcio. Para la clorofila *a*, con la misma relación de 10:9, se obtuvo un valor de 16.87, lo que representó el 38.27 % respecto a la relación de 14:9; en la clorofila *b* nuevamente se mantuvo en la concentración más alta por efecto de la misma solución y así mismo en la clorofila total,

siendo 45.90 % superior respecto a la solución con la relación de 14:9 (Tabla 2). Las concentraciones de clorofila y nitrógeno determinadas en laboratorio se correlacionaron con las lecturas del SPAD, este resultado es similar a diferentes reportes en algunas especies de hortalizas, plantas de ornato y plantas medicinales, donde se ha estimado la correlación entre las lecturas SPAD y el contenido de N y clorofila en las plantas (Basyouni *et al.*, 2015; Mendoza-Tafolla *et al.*, 2019).

En el volumen de raíz la solución con relación 10:7 produjo un volumen de 40 cm³, mientras que la relación 12:11 fue superior por un 103.75 % con un volumen de 81.50 cm³. Los tratamientos con las relaciones 10:9, 12:7, 12:9 y 14:7 mEq L⁻¹ fueron estadísticamente similares entre ellos, por lo que en este caso se le puede atribuir un mayor volumen de raíz a la concentración de 11 mEq L⁻¹ de Ca²⁺, ya que es la única cantidad que al aumentar produce un efecto significativo. El crecimiento de las raíces depende del suministro de nutrientes del suelo. A su vez, el crecimiento de la parte aérea depende del transporte de nutrientes desde las raíces. Las raíces requieren de los carbohidratos producidos en la parte aérea por la fotosíntesis, mientras que la parte aérea requiere los nutrientes y el agua absorbidos por las raíces, existiendo así un equilibrio entre la distribución de materia seca de las raíces y la parte aérea de las plantas (Barrios *et al.*, 2014).

El establecimiento de cultivo con sustratos en invernadero, aporte de agua y nutrientes óptimos, permite incrementar el crecimiento de las plantas presentando un sistema radical reducido, que se verá reflejado en una pequeña fracción de la materia seca total de la planta; por ejemplo, en el cultivo de pepino, la materia seca destinada a raíz varía entre un 8 % y un 15 %, en el corto estadio inicial de crecimiento vegetativo; en tomate, varía entre un 17 % y un 20 % en el estadio inicial; y entre un 1 % y un 10 % en el estadio generativo (Peil & Gálvez, 2005). Lo que concuerda con los datos obtenidos en esta investigación, ya que a pesar de haber acumulado más volumen de raíz la solución 12:11, no presentó el mejor crecimiento vegetativo, contrario a las soluciones 10:9 y 14:7, que obtuvieron valores significativos en las variables de crecimiento evaluadas, pero con volumen de raíz de 54.70 y 62.50 cm³, respectivamente (Tabla 2), y el porcentaje de materia seca destinada a raíz fue de: 21.20 y 22.80 % mientras que la fracción de materia seca de tallos fue de 48.16 y 40.90 % y para hoja de 30.8 y 36.7 % lo que indica que en toronjil morado cultivado con sustrato inerte, un volumen de raíz alto no es equivalente a un mayor crecimiento de la parte aérea de la planta.

En la longitud de tallo, la solución nutritiva con la relación 10:11 fue superior en 9.50 % a la solución Steiner (12:9) por un 9.5 % (Tabla 2), se observó que al aumentar las concentraciones de NO_3^- de 10 a 14 mEq L⁻¹ y de Ca^{2+} de 7 a 11 mEq L se reduce la longitud de tallo, es decir a mayor concentración de NO_3^- y de Ca^{2+} se afecta el crecimiento de la planta. Sin embargo, si se reduce el NO_3^- y se mantiene la concentración alta de Ca^{2+} en 11 mEq L⁻¹, se favorece el tamaño de la planta ya que la mayor altura se obtuvo con la relación 10:11, la cual expresó en 91.10 cm. El resultado anterior contrasta con lo reportado por Torres, (2019) en el cultivo de *A. mexicana* cultivadas en contenedor de polietileno (5 L) bajo cubierta plástica, con 24 mEq L⁻¹ de NO_3^- donde las plantas alcanzaron una altura de 77.66 cm, sin representar diferencias estadísticas con los demás tratamientos de 6, 12 y 18 mEq L⁻¹ de NO_3^- . Estas diferencias en los resultados a pesar de ser la misma especie se les pueden atribuir al manejo agronómico, al sustrato y a la relación mutua entre NO_3^- y Ca^{2+} , que, en esta investigación en el análisis de las variables de respuesta, se ha visto reflejada en el crecimiento vegetativo.

Tabla 2. Crecimiento de toronjil morado en respuesta a diferentes relaciones NO_3^- : Ca^{2+} de la solución nutritiva universal Steiner (1984).

NO_3^- : Ca^{2+}	RCC (SPAD)	clorofila a	clorofila b	clorofila total	RV (cm ³)	SL (cm)	SD (mm)	LA (cm ²)
10:7	48.540 ^{ab}	16.75 ^{ab}	5.73 ^{ab}	23.33 ^b	40.0 ^d	78.30 ^{bcd}	4.66 ^{abc}	2352.3 ^{ab}
10:9	51.620 ^a	16.87 ^a	6.00 ^a	26.54 ^a	54.70 ^c	85.30 ^{ab}	4.92 ^{ab}	2555.3 ^{ab}
10:11	50.310 ^{ab}	14.45 ^d	5.55 ^b	20.16 ^d	78.90 ^{ab}	91.100 ^a	4.90 ^{ab}	2427.3 ^{ab}
12:7	49.650 ^{ab}	15.35 ^c	5.72 ^{ab}	21.05 ^{cd}	60.30 ^c	83.00 ^{abc}	4.70 ^{abc}	2411.2 ^{ab}
12:9 (T)	49.910 ^{ab}	15.13 ^c	5.73 ^{ab}	20.86 ^d	56.20 ^c	83.10 ^{abc}	4.36 ^c	2340.8 ^{ab}
12:11	49.660 ^{ab}	15.33 ^c	5.56 ^b	21.13 ^{cd}	81.50 ^a	81.00 ^{bcd}	4.92 ^{ab}	2358.2 ^{ab}
14:7	50.610 ^{ab}	14.53 ^d	5.54 ^b	20.06 ^d	62.50 ^c	82.30 ^{bcd}	5.03 ^a	2715.2 ^a
14:9	46.180 ^b	12.20 ^e	5.91 ^{ab}	18.19 ^e	67.00 ^{bc}	75.30 ^{cd}	4.26 ^c	2130.2 ^{ab}
14:11	48.570 ^{ab}	16.51 ^b	5.53 ^b	22.16 ^{bc}	67.50 ^{bc}	74.30 ^d	4.48 ^{bc}	1972.0 ^b
MSD	5.31	0.28	0.42	1.20	13.39	8.28	0.51	590.29
CV (%)	7.51	1.31	5.15	3.91	14.82	7.1	7.74	17.46

NO_3^- : Ca^{2+} = Relación nitrato: calcio; RCC= Contenido relativo de clorofila en valores SPAD; RV= Volumen de raíz; SL= Longitud del tallo; SD= Diámetro del tallo; LA= Área foliar; T= Tratamiento control; MSD= Diferencia mínima significativa; CV= Coeficiente de variación; MSD= Diferencia mínima significativa; los tratamientos con la misma letra fueron estadísticamente iguales (Tukey, $p > 0.05$)

En el diámetro de tallo la relación 14:7 respecto a la 12:9 fue superior por un 15.36 %. Para el área foliar, nuevamente la relación 14:7 obtuvo los mejores resultados de 2,715.2 cm² (Tabla 2). Por otro lado, la solución con la relación 10:9 mantuvo un efecto constante en este parámetro presentando los valores más altos para el área foliar, puesto que este fue el mejor tratamiento para el contenido relativo de clorofila, clorofila *a*, *b* y total, tomando en cuenta que la cantidad de clorofila está relacionada con la biomasa de hojas. Sin embargo, esto se podría atribuir al incremento del NO₃⁻ de 10 a 14 mEq L⁻¹, ya que el diámetro de tallo también aumento.

En relación con la materia seca, se obtuvieron 14.85 g de materia seca de raíz con la solución 12:11, 23.02 gramos de materia seca de tallo con la solución 10:09, y de hoja 18.51 gramos con la solución 14:07. La solución que produjo una mayor cantidad de materia seca total con 47.74 g fue el tratamiento 10:9 siendo estadísticamente igual al tratamiento 14:07 con 49.72 gramos (Tabla 3). Considerando la materia seca como un parámetro para cuantificar el crecimiento y que está directamente relacionada con una mayor eficiencia de la actividad fotosintética por la disponibilidad y aprovechamiento de los nutrimentos (Azcón-Bieto & Talón, 2008; Villegas-Torres *et al.*, 2012), en el cultivo de toronjil morado se observa que el órgano que demandó más nutrientes fue el tallo, ya que se encontraba en crecimiento vegetativo. Por efecto de la solución nutritiva 10:9 se destinó el 21.20 % de la materia seca a la raíz, el 48.16 % al tallo y el 30.8 % a las hojas. La relación 14:07 destinó 22.80 % a la raíz, 40.90 % al tallo y 36.7 a las hojas tallo.

Tabla 3. Producción de materia seca en el cultivo semi hidropónico de *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* en respuesta a las relaciones NO₃⁻: Ca²⁺ de la solución nutritiva universal.

NO ₃ ⁻ : Ca ²⁺	SDM (g)	RDM (g)	LDM (g)	TDM (g)	RDMP (%)	SDMP (%)	LDMP (%)
10:7	12.59 ^d	8.37 ^c	12.59 ^{ab}	33.56 ^d	24.80 ^c	37.44 ^{bc}	37.9 ^a
10:9	23.02 ^a	9.63 ^{bc}	15.08 ^{ab}	47.74 ^a	21.20 ^c	48.16 ^a	30.8 ^a
10:11	19.05 ^{abc}	11.85 ^{ab}	16.30 ^{ab}	47.20 ^{ab}	25.80 ^{bc}	40.17 ^{bc}	34.0 ^a
12:7	18.09 ^{abcd}	10.81 ^{bc}	15.67 ^{ab}	44.57 ^{abcd}	24.00 ^c	40.20 ^{bc}	35.6 ^a
12:09 (T)	18.41 ^{abcd}	10.71 ^{bc}	13.10 ^{ab}	42.24 ^{abcd}	25.30 ^{bc}	43.43 ^{ab}	31.1 ^a
12:11	15.23 ^{bcd}	14.85 ^a	15.42 ^{ab}	45.51 ^{abc}	33.10 ^a	33.34 ^c	33.5 ^a

14:7	20.15 ^{ab}	10.94 ^{bc}	18.51 ^a	49.72 ^a	22.80 ^c	40.90 ^{abc}	36.7 ^a
14:9	12.92 ^d	11.88 ^{ab}	10.66 ^b	35.46 ^{cd}	33.86 ^a	35.85 ^{bc}	30.3 ^a
14:11	13.88 ^{cd}	11.35 ^{bc}	10.61 ^b	35.84 ^{bcd}	31.80 ^{ab}	38.42 ^{bc}	29.9 ^a
MSD	6.12	3.33	6.15	11.54	6.98	7.79	9.11
CV (%)	25.14	20.89	30.28	19.4	18.19	13.69	19.1

NO₃⁻: Ca²⁺= Relación nitrato: calcio; SDM= Materia seca del tallo; RDM= Materia seca de la raíz; LDM= Materia seca de la hoja; TDM= Materia seca total; RDMP= Partición de materia seca de la raíz; SDMP= Partición de materia seca del tallo; LDMP= Partición de materia seca de la hoja; T= Tratamiento control; CV= Coeficiente de variación; MSD= Diferencia mínima significativa; los tratamientos con la misma letra fueron estadísticamente iguales (Tukey, $p > 0,05$).

La influencia del nitrógeno en la acumulación de materia seca se ha visto evidenciada en diferentes cultivos agrícolas, desde hortalizas, medicinales y ornamentales, por ejemplo en el cultivo de chile chilhuacle (*Capsicum annuum* L) se reportó que al suministrar 10 y 14 mEq L⁻¹ de NO₃⁻ aumentó la materia seca disponible en los órganos de las plantas (Fajardo-Rebollar *et al.*, 2022), en el caso del cultivo de fresa con 14 mEq L⁻¹ (Mixquititla-Casbis *et al.*, 2020), para el cultivo de chile habanero (*Capsicum Chinense* Jacq) la concentración de 14 mEq L⁻¹ de NO₃⁻ beneficia la acumulación de materia seca (López-Gómez *et al.*, 2017). En las plantas aromáticas también ha sido documentado el efecto positivo del NO₃⁻, no solo en la acumulación de materia seca si no en el aumento de sus compuestos bioactivos, a manera de ejemplo investigaciones en romero (*Salvia rosmarinus*) han demostrado que el rendimiento de aceite esencial depende significativamente de la concentración absoluta y relativa de NO₃⁻ y K (Puttanna *et al.*, 2010), al igual que el de aceite esencial de albahaca (*Ocimum basilicum*) (Taie *et al.*, 2010); así como en el cultivo de melisa (*Melissa officinalis*) (Abbaszadeh *et al.*, 2009) entre otros; sin embargo, este efecto dependerá del manejo agronómico, y la relación entre los demás elementos de la solución nutritiva. En el caso de esta investigación la interacción entre el NO₃⁻ y Ca²⁺ optimizó la asimilación de los nutrientes en la planta para su crecimiento, ya que por lo reportado por Torres (2019), no existió una respuesta significativa para la acumulación de materia seca por efecto del aumento gradual de nitrógeno en la fertilización.

En cuanto a la concentración y extracción nutrimental la relación 10:9 tuvo una mayor extracción y concentración de N, P, K, Ca, Mg, comparada con la solución con la relación de 14:9 en función a raíz y vástago del toronjil morado (Tabla 4), lo que concuerda por lo reportado por Torres-Olivar *et al.* (2018), en el cultivo de noche buena (*Euphorbia pulcherrima* (Willd. ex Klotzsch)) a la relación NO₃⁻ y Ca²⁺

Tabla 4. Concentración y extracción de nutrimentos totales en raíz tallo y hoja, utilizados en la solución nutritiva universal Steiner para el cultivo de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica.

NO ₃ ⁻ :Ca ²⁺	Macroelemento	Materia seca	Concentración de nutrientes	Extracción de nutrientes
10:9	N	47.74	7.58	1.234
14:9		35.46	6.73	0.766
10:9	P	47.74	0.78	0.121
14:9		35.46	0.56	0.065
10:9	K	47.74	7.51	1.282
14:9		35.46	6.29	0.738
10:9	Ca	47.74	3.02	0.462
14:9		35.46	2.91	0.334
10:9	Mg	47.74	1.68	0.202
14:9		35.46	1.53	0.177
10:9	Na	47.74	0.10	0.010
14:9		35.46	0.06	0.007
10:9	S	47.74	0.82	0.110
14:9		35.46	1.07	0.124

La solución nutritiva con la relación 10:9 y la solución con 14:7 presentaron los valores más altos en cuestión de crecimiento y variables de materia seca; por lo tanto, para poder definir cual solución es la mejor para la producción de toronjil morado, se estimó el costo de producción de las soluciones nutritivas, considerando un volumen de 1,100 L. El costo para la solución con la relación de NO₃⁻: Ca²⁺ de 10:9 es de \$154.12 y para la relación 14:7 es de \$176.82. Por lo antes mencionado, en esta investigación, se comprobó la importancia de las relaciones mutuas entre aniones y cationes para las soluciones nutritivas, ya que, en la etapa de crecimiento vegetativo, aplicar concentraciones en dosis altas de NO₃⁻ y Ca²⁺

puede demeritar el crecimiento y acumulación de materia seca y hacer un gasto excesivo en fertilización.

Conclusiones

En la producción de toronjil morado en contenedor bajo cubierta plástica resulta favorable el balance de las relaciones mutuas $\text{NO}_3^- : \text{Ca}^{2+}$ de la solución nutritiva universal Steiner, con una relación de 10 a 9 mEq L^{-1} , para favorecer el crecimiento vegetativo y la acumulación de materia seca, así como optimizar los costos de fertilización.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, LRMG, VTOG, ESSE, desarrollo de la metodología, LRMG, VTOG.; autor manejo de software, LRMG, CHGJA.; validación experimental: ESSE, ARM, PAI, MFE.; análisis de resultados LRMG, VTOG CHGJA; Manejo de datos, LRMG, VTOG, MFE.; escritura y preparación del manuscrito, LRMG, VTOG, ARM; redacción, revisión y edición, CHGJA, ARM, PAI; administrador de proyectos, VTOG.; adquisición de fondos, LRMG, VTOG.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.” Para nombrar a los participantes, deberán usarse siglas de su nombre. La autoría debe limitarse a aquellos que hayan contribuido sustancialmente al trabajo informado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las instituciones: Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por las facilidades de utilizar las instalaciones y sus recursos para trabajo de campo y gabinete respectivamente.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Abbaszadeh, B., Farahani, H. A., Valadabadi, S. A., & Darvishi, H. H. (2009). Nitrogenous fertilizer influence on quantity and quality values of balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Agricultural Extension and Development*, (1) 31-33.

<https://www.researchgate.net/publication/228751241> Nitrogenous fertilizer influence on quantity and quality values of balm *Melissa officinalis* L

- 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, (pp. 75).
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de Fisiología Vegetal (2ª. ed.). McGraw-Hill. Madrid, España, (pp 651).
- Baran, E. J. (2021). Metaloenzimas de plantas. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie: Publicaciones científicas*, (17).
<https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/Academia/Metaloenzimas%20de%20plantas.pdf>
- Barrios, M. B., Buján, A. D., Sokolowski P., Blasón, A.C., Á. D., Rodríguez, H. A., López S. C., De Grazia, J., Mazo, C. R., & Gagey, M.C. (2014). Relación de raíz/biomasa total de Soja (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, 32 (3), 221-230.
- Basyouni, R. B., Dunn, B. L., & Goad, C.(2015). Use of non-destructive sensors to assess nitrogen estatus in potted poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* L. (Willd. ex Klotzsch)) production. *Scientia Horticulturae*, 192, 47-53.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.011>
- Carmona-Castro, G., Estrada-Soto, S.E., Arellano-García, J., Arias-Dura, N. L., Valencia-Díaz, S., & Perea-Arango, I. (2019). High accumulation of tilianin in *in-vitro* cultures of *Agastache mexicana* and its potential vasorelaxant action. *Molecular Biology Reports*, 46 (1),1107-1115. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4570-4>
- Carrillo-Galván, G., Bye, R., Eguiarte, L. E., Cristians, S., Pérez-López, P., Vergara-Silva, F., & Luna-Cavazos M. (2020). Domestication of aromatic medicinal plants in Mexico: *Agastache* (Lamiaceae) an ethnobotanical, morpho-physiological, and phytochemical analysis. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16 (22),1-16.
<https://doi.org/10.1186/s13002-020-00368-2>
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2010). Plantas medicinales de la Farmacia Viviente del Cefor: Usos terapéuticos tradicionales y dosificación. Coordinación general Educación y Desarrollo Tecnológico Gerencia de Educación y Capacitación. Impreso en México. (pp 188).
- Cruz-Torres, K.C, Estrada-Soto, S. E., Arias-Durán, L., Navarrete-Vázquez, G., Almanza- Pérez, J.C., Mora-Ramiro, B., Perea-Arango, I., Hernández-Núñez, E., Villalobos-Molina R., Carmona-Castro, G., Medina-Díaz, I.M., & Ávila-Villarreal, G. (2023). LC-MS Fingerprinting Development for Standardized Precipitate from *Agastache mexicana*. Which Induces Antihypertensive Effect through NO Production and Calcium Channel Blockade. *Pharmaceutics*, 15 (9), 2346. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15092346>
- De Oliveira, R.C., Silva, J.R., Luz, J.M.Q., Blank, A.F., Sampaio T.S., & Silva S.M. (2021). Production and composition of Lavender oil: nutritional management and cultivation systems. *Boletín latinoamericano y del caribe de plantas medicinales y aromáticas*, 20(6), 649-659. <https://10.37360/blacpma.21.20.6.46>

- Estrada-Reyes, R., López-Rubalcava, C., Ferreyra-Cruz, O. A., Dorantes-Barrón, A.M., Heinze G., Moreno Aguilar, J., & Martínez-Vázquez, M. (2014). Central nervous system effects and chemical composition of two subspecies of *Agastache mexicana*; an ethnomedicine of Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 153(1), 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.12.057>
- Fajardo-Rebollar, E., Villegas-Torres, O. G., Andrade-Rodríguez, M., Sotelo-Nava H., Perdomo-Roldán F., & Viveros-Ceballos, J.L. (2022). Nutrición mineral del chilhuacle en tres etapas fenológicas. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13 (1). <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2894>
- Flores-Flores, A., Hernández-Abreu, O., Ríos, M.Y, León-Rivera, I., Aguilar-Guadarrama, B., Castillo-España, P., Perea-Arango, I., & Estrada-Soto, S. (2016). Modo de acción vasorelajante del extracto soluble en diclorometano de *Agastache mexicana* y sus principales compuestos bioactivos. *Pharmaceutica. Biology*, 54(12), 2807-2813 <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1184690>
- He-Chao, Wang, W., & Hou, J. (2019). Plant growth and soil microbial impacts of enhancing licorice with inoculating dark septate endophytes under drought stress. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2277. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02277>
- Hernández-Abreu, O. M., Torres-Piedra, S., García-Jiménez, M., Ibarra-Barajas, R. V., Molina & Estrada-Soto, S. E. (2012). Dose-depnt antihypertensive determination and toxicological studies of tilianin isolated from *Agastache mexicana*. *Journal Ethnopharmacol*, 146(1),187-91, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.12.029>
- Juárez-Rosete, C. R., Rodríguez-Mendoza, M. N., Sandoval-Villa, M., & Muratalla-Lúa, A. (2007.) Comparación de tres sistemas de producción de fresa en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 25 (1),17-23.
- Kalaji, H. M., Dąbrowski, P., Cetner, M. D., Samborska, I. A., Łukasik, I., Brestic, M., & Panchal, B. M. (2017). A comparison between different chlorophyll content meters under nutrient deficiency conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 40 (7), 1024-1034. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1263323>
- Lara-Herrera, A., de la Rosa-Rodríguez, R., & Trejo-Téllez, L. I. (2023). Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth and yield under five proportions of macronutrients in nutrient solution. *Bioagro*, 35(2), 113-122. <https://doi.org/10.51372/bioagro352.4>
- Larios-González, R. C., García, C. L., Ríos, M. J., Avalos, E. C. D. S. & Castro, S. J. R. (2021). Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. *Siembra*, 8(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2475>
- Linares, E. & Bye, R. (2013). Códice De la Cruz-Badiano (Segunda parte). *Arqueología Mexicana*, 51, 34-36.
- López-Gómez, J. D., Villegas Torres, O.G., Sotelo Nava, H., Andrade Rodríguez, M., Juárez López, P., & Martínez Fernández, E. (2017). Rendimiento Y Calidad Del Chile Habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 8(8),1747-58. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.699>

- Martínez-Gordillo, M., Bedolla-García, B. I. Cornejo-Tenorio, G., Fragoso-Martínez, I., García-Peña, M.D.R., González-Gallegos, J. G, Lara-Cabrera, S. I., & Zamudio, S. (2017). Lamiaceae de México. *Botanical Sciences*, 95, 780-806.
- Mendoza-Tafolla, R. O., Juárez-López, P., Ontiveros-Capurata, R. E., Sandoval-Villa, M., Alia-Tejagal, I., & Alejo-Santiago, G. (2019). Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and atLEAF Readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 751-756. <https://doi.org/10.15835/nbha47311525>
- Mixquititla-Casbis, G., Villegas-Torres, O.G., Andrade-Rodríguez, M., Sotelo-Nava, H., & Cardoso-Taketa, A., T. (2020). Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6),133-48. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2329>.
- Monroy-Ortiz, C. & Castillo-España, P. (2007). Plantas medicinales del estado de Morelos. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Najar, B., Marchioni, I., Ruffoni, B., Copetta, A., Pistelli, L., & Pistelli, L. (2019). Volatilomic analysis of four edible flowers from agastache genus. *Molecules*, 24(4480),1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules24244480>
- Nurzyńska -Wierdak, R. (2013). Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition in medicinal plants. *Acta Scientiarum Polonorum-hortorum Cultus*, 12, 3-16.
- Ojodeagua J. L., Castellanos, J. Z., Muñoz, J. J., Alcántar, G., Tijerina, L., Vargas, P. & Enríquez S. (2008). Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 367-374. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.4.367>
- Ontiveros-Capurata, R.E., Juárez-López, P., Mendoza-Tafolla, R. O., Alia-Tejagal, I., Villegas-Torres, O. G., Guillén-Sánchez, D., & Cartmill, A.D. (2022). Relación entre concentraciones de clorofila y nitrógeno, y producción de materia fresca en albahaca 'Nufar' (*Ocimum basilicum*), con lecturas de tres medidores manuales de clorofila: SPAD, atLEAF y MC-100. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 28(3), 189-202. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.09.018>
- Palma-Tenango, M., Sánchez-Fernández, R. E., & Soto-Hernández, M. A, (2021). Systematic approach to *Agastache mexicana*. *Research: Biology, Agronomy, Phytochemistry, and Bioactivity. Molecules*, 26 (3751),1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules26123751>
- Peil, R. M. & Gálvez, J. L. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista brasileira de agrociencia*, 11(1), 05-11.
- Puttanna, K., Prakasa Rao, E. V. S., Rakshapal Singh, & Ramesh, S. (2010). Influence of nitrogen and potassium fertilization on yield and quality of rosemary in relation to harvest number. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41, 190-198. <https://doi.org/10.1080/00103620903429984>
- Rodés, G. R. & Collazo O. M., (2006). Manual de prácticas de fotosíntesis. Las prensas de Ciencias., UNAM. México. (pp 159).
- Santillán-Ramírez, M. A., López-Villafranco, M. E., Aguilar-Rodríguez, S., & Aguilar-Contreras, A. (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
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2008.002.550>
- Steiner, A. A. (1984). The universal solution. ISOSC. In: Proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture. *Lunteren, The Netherlands*. 633-649.
- Taie, H. A. A., Salama, Z.A-E.R. & Radwan, S. (2010). Potential activity of basil plants as a source of antioxidants and anticancer agents as affected by organic and bio-organic fertilization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38 (1), 119-127. <https://doi.org/10.15835/nbha3813534>
- 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 de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, División de ciencias biológicas y de la salud].
<https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/2101/1/191650.pdf>
- Torres-Olivar, V., Villegas-Torres, O. G., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., & Trejo-Téllez, L. I. (2015). Respuesta de la Nochebuena (*Euphorbia Pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch) a la relación nitrato:calcio en tres etapas fenológicas. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, México*, 12(23), 45-57.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.766>
- Torres-Olivar, V., Villegas-Torres, O.G., Valdez-Aguilar, L.A., Alia-Tejacal, I., Sainz-Aispuro, M., & Hernández-Pérez, A. (2018). Crecimiento y extracción nutrimental de Nochebuena en respuesta a la relación Nitrato: Calcio y etapa fenológica. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 9 (3), 683-90.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1225>
- Villegas-Torres, O. G., Durán, C. M. A., Sotelo-Nava, H., Mondragón, E. A., Andrade-Rodríguez, M., Hernández- Fuentes, A. D., & Limón, S. M. (2012). Concentración iónica total de la solución nutritiva y sustratos en la producción de lilis (*Lilium* sp.) Tópicos selectos de horticultura. Trillas. México (pp. 55-71).
- Xie, X., He, Z., Chen, N., Tang, Z., Wang, Q., & Cai, Y. (2019). The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant, *BioMed Research International*, 9732325, 11. <https://doi.org/10.1155/2019/9732325>