

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Potencial osmótico y extracción de macronutrientes en *Matricaria recutita* L.

Osmotic potential and macronutrient uptake in *Matricaria recutita* L.

Authors/Autores: Martínez-Mendoza, J., Aguilar-Castillo J. A., Alejo-Santiago G., Aburto- González C. A., Juárez-Rosete C. R.

ID: e1967

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1967>

Received/Fecha de recepción: June 09th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: November 07th 2025

Available online/Fecha de publicación: December 01th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: Martínez-Mendoza, J., Aguilar-Castillo J. A., Alejo-Santiago G., Aburto- González C. A., Juárez-Rosete C. R. (2025). Osmotic potential and macronutrient uptake in *Matricaria recutita* L. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1967. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1967>

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.

Potencial osmótico y extracción de macronutrientes en *Matricaria recutita* L.

Osmotic potential and macronutrient uptake in *Matricaria recutita* L.

Extracción de macronutrientes en manzanilla/ Macronutrient uptake in chamomille

Martínez-Mendoza, J. ¹ , Aguilar-Castillo J. A. ² , Alejo-Santiago G. ^{1,2} , Aburto-González C. A. ² , Juárez-Rosete C. R. ^{1,2} * 

¹Maestría Interinstitucional en Agricultura Protegida, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. S/N, Xalisco, C. P. 63780, Nayarit, México..

² Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. S/N, Xalisco, C. P. 63780, Nayarit, México.

*Corresponding Author,

[Cecilia Rocío Juárez Rosete](#). Maestría Interinstitucional en Agricultura Protegida. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. S/N, Xalisco, C. P. 63780, Nayarit, México. Teléfono, (52) 311 740 76 61. E-mail, cecilia.juarez@uan.edu.mx

RESUMEN

Se evaluó el potencial osmótico para obtener mayor producción de biomasa total e inflorescencias de manzanilla y se determinó el requerimiento y extracción nutrimental de N, P, K y Ca durante el ciclo de cultivo. Se probaron cuatro niveles de potencial osmótico (Ψ_0), -0.036, -0.054, -0.072 y -0.090 MPa de solución nutritiva Steiner. El arreglo experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones, la unidad experimental consistió en una maceta con una planta. Se determinó el número de inflorescencias por planta, el diámetro, el peso seco de inflorescencia y de la planta, para lo cual se hicieron muestreos destructivos cada 15 días después del trasplante. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$). Los análisis químicos nutrimentales se realizaron mediante procedimientos estándar. Hubo efecto del nivel de potencial osmótico en el peso seco y en producción de inflorescencias destacando el tratamiento de Ψ_0 de -0.072 Mpa. y se realizó el cálculo de requerimiento nutrimental. El requerimiento nutrimental en (kg) por tonelada de manzanilla seca (ramas, tallos e inflorescencia) fue de, N, 32.00; P, 3.67; K, 39.29 y Ca, 7.11, y la extracción de nutrimentos en el cultivo de manzanilla fue en el orden $K>N>Ca>P$.

PALABRAS CLAVE,

Presión osmótica, producción, inflorescencias secas, requerimiento nutrimental.

ABSTRACT

The osmotic potential for higher total biomass and inflorescence production of chamomile was identified, and the nutrient requirement and extraction of N, P, K, and Ca during the growing season were determined. Four levels of osmotic potential (Ψ_o) were tested, -0.036, -0.054, -0.072, and 0.090 MPa from Steiner's nutrient solution. The experimental arrangement employed a randomized complete block design with three replications; the experimental unit consisted of a pot containing a single plant. Means were compared using Tukey's test ($\alpha = 0.05$). The evaluated variables were the number of inflorescences per plant, diameter, and dry weight of both inflorescences and plants, for which destructive sampling was carried out throughout the crop cycle. Nutrient chemical analyses were performed using standard procedures. The effect of the level of osmotic potential on dry weight and inflorescence production was identified; based on the best treatment, the nutrient requirement was calculated in the treatment with Ψ_o of -0.072 Mpa. The nutrient requirement (kg) per ton of dried chamomile (branches, stems, and inflorescence) was N, 32.00; P, 3.67; K, 39.29; and Ca, 7.11, and nutrient extraction in chamomile cultivation was in the order $K > N > Ca > P$.

KEY WORDS

Osmotic pressure, production, dry inflorescences, nutrient requirements

Introducción

La manzanilla es una planta aromático-medicinal que pertenece a la familia Asteraceae (Kisić *et al.*, 2018), la manzanilla alemana (*Matricaria recutita*) junto con la manzanilla romana (*Chamaemelum nobile*) son las más representativas (Sharifi-Rad *et al.*, 2018). Es una especie de importancia en el comercio mundial debido a sus múltiples usos y aplicaciones en el sector alimenticio, herbolario, farmacéutico y cosmético (Chauhan *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022). La variedad *Matricaria recutita* L. es la que más se cultiva en México (Milla-Escobar, 2008), en el año 2024 se sembraron 597 hectáreas con un rendimiento promedio de $3.67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, los principales estados productores fueron, Estado de México, Puebla, Morelos, San Luis Potosí y Durango (SIAP, 2024). Sin embargo, no se tienen datos actuales sobre las variedades cultivadas y la extensión designada a la producción orgánica y convencional de manzanilla en México. El cultivo de especies aromáticas y medicinales representa una alternativa rentable de mercado creciente y valor agregado alto si cuenta con certificación de Buenas Prácticas Agrícolas y orgánica (Juárez-Rosete *et al.*, 2013) ya que la producción va dirigida a consumidores interesados en mejorar su calidad de vida.

Aun cuando la manzanilla es una hierba medicinal y aromática de alto valor, su cultivo está limitado a traspatios, huertas o pequeños agricultores. Los agricultores no están interesados en su cultivo a gran escala debido a, la falta de variedades de alto rendimiento adaptadas a las condiciones agroecológicas de cada región (Castro-Restrepo *et al.*, 2013), al desconocimiento del requerimiento nutrimental para elaborar planes de fertilización, a la falta de agrotecnologías de bajo costo para la recolección de flores y a la falta de maquinaria idónea para la cosecha (Milla-Escobar, 2008;

Chauhan *et al.*, 2022). Uno de los problemas en el cultivo de especies aromáticas y medicinales es la falta de información precisa en el manejo de la nutrición mineral (Pedraza & Henao, 2008). En este contexto, la demanda y los crecientes requisitos de calidad han llevado a la búsqueda de métodos nuevos y más efectivos en el cultivo de manzanilla. El manejo de la nutrición mineral es un factor decisivo que permite incrementar el potencial productivo de las plantas (Sánchez-García *et al.*, 2016), impacta en el rendimiento de inflorescencias (Kisić *et al.*, 2019) y puede ser controlado si se conocen las necesidades nutrimentales del cultivo.

Investigaciones relacionadas con la fertilización del cultivo de manzanilla se enfocan en la aplicación de dosis de fertilización de nitrógeno y el régimen de riego que resultan en mayor rendimiento, ya que incrementan la producción de biomasa, el rendimiento de flores (Alhasan *et al.*, 2022) y el contenido de aceites esenciales (Alhasan *et al.*, 2022; Giannoulis *et al.*, 2020).

Además, se ha documentado que el suministro de dosis de N-P-K incrementa el rendimiento de inflorescencias secas por planta (Mohammadreza *et al.*, 2012; Ahmad *et al.*, 2024), el cual está influenciado por la edad de la planta y la fuente de fertilización suministrada (Juárez-Rosete *et al.*, 2011). Sin embargo, Barbosa *et al.* (2015) señalan que no existe efecto por la aplicación de potasio en la altura de planta, diámetro de vástago, número y diámetro de capítulos, así como en la producción de materia seca. También se ha reportado el uso de abonos orgánicos (Alemán *et al.*, 2016, Rostaei *et al.*, 2024) que tienen efecto positivo en los caracteres de crecimiento como los diámetros de los capítulos florales y el contenido de aceite esencial (Ahmed *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2011) o la combinación de fertilización química y orgánica (Kisić *et al.*, 2019). En general la manzanilla no requiere grandes cantidades de fertilizantes, dependiendo la fertilidad química del suelo se pueden agregar pequeñas cantidades de N, P y K antes de la siembra (Singh *et al.*, 2011). Por lo que, conocer los requerimientos nutrimentales permitirá hacer una fertilización racional y ayudará a obtener un rendimiento óptimo.

No obstante, en México, no hay datos precisos sobre los niveles de fertilización que se suministran al suelo, ni de los rangos de deficiencia, suficiencia o exceso de macronutrientes en el cultivo de manzanilla y su efecto en el rendimiento. En este sentido las curvas de extracción de nutrientes representan las cantidades de un elemento extraídas por las plantas durante su ciclo de vida (Sancho, 1999) y permiten definir estrategias en los programas de nutrición de los cultivos (Berstch, 2005). Una forma de obtener estas curvas de extracción nutrimental es mediante ensayos hidropónicos en los que se puede variar el nivel de potencial osmótico de los cultivos para determinar en qué nivel se obtiene la mayor acumulación de biomasa y producción de flores (Ebrahimi *et al.*, 2021). A medida que el potencial osmótico se vuelve más negativo disminuye la energía libre del agua y se afecta la absorción de nutrimentos (Marschner, 2012) hasta acercarse a niveles que limitan la capacidad de la raíz de absorber agua y nutrimentos (Ben-Gal *et al.*, 2009; Pachepsky *et al.*, 2024). De ahí que el objetivo del presente trabajo fue identificar el potencial osmótico de la solución nutritiva en el intervalo de -0.036 a -0.090 MPa que proporcione la mayor producción de biomasa total e inflorescencias por planta y determinar la extracción de macronutrientes por etapa fenológica.

Material y métodos

El estudio se realizó en un invernadero tipo gótico con ventilación pasiva cenital y lateral. Con cubierta de polietileno tipo Hals con tecnología UV y antigoteo, y con malla sombra de 35 % de sombreo a cuatro m de altura, ubicado en el Ejido Colonia Seis de Enero, Tepic, Nayarit, en las coordenadas 21°32'16.9"N y 104°48'30.6" O. Se utilizaron semillas de la variedad DC-1 (Plantamex®), las cuales se germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades. El sustrato utilizado para la germinación fue una combinación de turba Sunshine® No. 3 y perlita en una proporción de 60,40 (v,v). Durante la etapa de germinación y producción de plántula se realizó el riego con agua a un pH de 6.0. El trasplante se realizó cuando las plántulas alcanzaron 3 cm de altura.

Los contenedores destinados para el trasplante fueron de plástico flexible color negro (20 x 20 cm) con fuelle para mayor estabilidad, con capacidad de 1.5 litros y orificios para permitir el drenaje. Como sustrato se utilizó roca volcánica basáltica (tezontle negro) de un tamaño de partícula de 0.3 a 0.8 cm y fue desinfectado con sales cuaternarias de amonio. Se realizó la determinación analítica del agua de riego para conocer su composición química y ajustar las formulaciones de las soluciones nutritivas tomando en cuenta los resultados del análisis. Los datos del análisis de agua fueron los siguientes, pH 7.08, CE 0.21 dS m⁻¹; K⁺ 0.11, Ca⁺² 0.54, Mg⁺² 0.92 y Na⁺ 0.50 meq L⁻¹; SO₄⁻² 0.03, NO₃⁻ 0.12, Cl⁻ 0.10 y HCO₃⁻ 1.78 meq L⁻¹. Con estos resultados se procedió a realizar los ajustes correspondientes a cada uno de los tratamientos de potencial osmótico.

Los tratamientos que se evaluaron corresponden a cuatro niveles de potencial osmótico en una solución nutritiva estándar (Steiner, 1984), expresados en potencial osmótico (Ψ_o), -0.036, -0.054, -0.072, 0.090 Mpa (Tabla 1). Se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en 24 macetas, con una planta por maceta. La distancia entre macetas fue de 0.10 m y 0.50 m entre unidades experimentales. Las soluciones nutritivas utilizadas se prepararon por separado en contenedores de 200 L de capacidad utilizando fertilizantes solubles. El riego con la solución nutritiva se realizó a diario de forma manual hasta el término de la cosecha. Se realizaron dos riegos al día; por la mañana se suministró solución nutritiva y por la tarde agua corriente para evitar la acumulación de sales en el sustrato.

Tabla 1. composición iónica de las soluciones nutritivas utilizadas en los tratamientos.

Potencial osmótico (MPa)	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻ meq.L ⁻¹	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
-0.036	6	0.50	3.5	3.5	4.50	2.0
-0.054	9	0.75	5.25	5.25	6.75	3.0
-0.072	12	1.00	7.00	7.00	9.00	4.0
-0.090	15	1.25	8.75	8.75	11.25	5.0

Después del trasplante, se realizaron muestreos destructivos cada 15 días hasta el final de la floración. En cada muestreo fueron recolectadas de manera aleatoria plantas completas, cortadas desde la superficie del sustrato. Se separó la parte vegetativa y las inflorescencias las cuales se secaron en una estufa de aire forzado a 60°C, hasta que se obtuvo el peso constante de acuerdo con lo señalado por Sánchez-Prado *et al.* (2018). De esta manera, se cuantificó la materia seca acumulada en cada órgano a lo largo del ciclo de crecimiento y producción del cultivo, y se elaboró la curva de crecimiento.

Se registró la producción de inflorescencias por planta considerando el peso y diámetro de estas, las cuales fueron cortadas de forma manual cada cinco días a partir de que aparecieron y se realizó durante todo el periodo de cultivo. Mediante esta práctica se mantuvo la producción y se evitó la senescencia de las inflorescencias y de la planta (Doni *et al.*, 1999). De acuerdo con Sánchez-Prado *et al.* (2018) una vez que se conoció el mejor tratamiento con respecto a la producción de flor seca, se realizaron las determinaciones analíticas de macronutrientes en la parte vegetativa y en las inflorescencias.

Las muestras secas se procesaron en un molino IKA® A11 basic. El contenido total de nitrógeno (N) se determinó por el método Micro-Kjeldahl. El fósforo (P) se determinó mediante colorimetría usando un espectrofotómetro (DR2800, Hach®), el potasio (K) y calcio (Ca) fueron determinados con un flamómetro (Flame Photometer 410, Sherwood®), siguiendo procedimientos estándar de laboratorio descritos por Alcántar y Sandoval (1999).

La acumulación de nutrimentos en los diferentes muestreos durante el ciclo de crecimiento del cultivo de manzanilla se calculó a partir de su concentración porcentual y la cantidad de materia seca total acumulada en la parte vegetativa y las inflorescencias (Sánchez-Prado *et al.*, 2018). La extracción de macronutrientes en cada muestreo se expresó por planta (g). La curva de extracción fue elaborada para cada macronutriente considerado, N, P, K y Ca.

Los datos obtenidos de cada variable respuesta se analizaron mediante un análisis de varianza y las diferencias estadísticas se determinaron con la prueba de F y en donde se encontraron diferencias se procedió a utilizar la comparación de medias con el método de Tukey ($\alpha = 0.05$) utilizando el Programa estadístico SAS.

Resultados y Discusión

El crecimiento del cultivo se evaluó en función de los tratamientos de potencial osmótico (Ψ_o), -0.036, -0.054, -0.072 y -0.090 Mpa, de acuerdo con el análisis de varianza hubo efecto de las soluciones nutritivas en el rendimiento y con las pruebas de medias, se determinó que el potencial osmótico de -0.072 MPa fue el tratamiento con mayor rendimiento de inflorescencias, mientras que en los tratamientos de -0.036, -0.054 y -0.090 no hubo diferencias estadísticas.

En la Tabla 2 se observa que la producción de inflorescencias inició a los 86 dat (días después del trasplante) y tendió a incrementar hasta los 105 dat, a partir de los 123 dat el rendimiento de inflorescencias comenzó a descender, posiblemente por la edad de la planta. Estos datos son similares a los obtenidos por Al-Karaki y Otman

(2009) quienes obtuvieron hasta 44.5 g.planta⁻¹ de inflorescencia producidas en cultivo sin suelo.

Mohammadreza *et al.* (2012) evaluaron el efecto de diferentes niveles de N, P y K, y obtuvieron hasta 17.50 flores por planta cuando suministraron 100 Kg N ha⁻¹ mediante la aplicación de urea, con 50 Kg de P₅O₅ ha⁻¹, como superfosfato triple y 50 Kg de K₂O como sulfato de potasio. Sin embargo, no se menciona a los cuantos dat se inició la cosecha y cuántas cosechas se realizaron. En otra investigación realizada por Gandomi *et al.* (2021) en la que evaluaron la respuesta de diferentes niveles de fertilización química y orgánica en la producción de manzanilla y su calidad, obtuvieron hasta 67.37 flores por planta cuando suministraron 100 kg N ha⁻¹.

Tabla 2. Número de inflorescencias en manzanilla (*Matricaria recutita* L.) en cuatro soluciones nutritivas en diferente potencial osmótico (Ψ_o).

Potencial osmótico	Días después del trasplante			
(MPa)	86	91	105	125
-0.036	17.700 ^{ab}	40.480 ^{ab}	62.770 ^a	53.300 ^a
-0.054	12.070 ^b	29.790 ^b	56.870 ^b	51.660 ^a
-0.072	32.500 ^a	48.220 ^a	76.350 ^a	37.250 ^a
-0.090	31.930 ^{ab}	27.940 ^b	72.980 ^a	57.590 ^a
Pr >F	0.0294	0.0114	0.235	0.159
CV	30.480	14.800	16.870	19.470
HSD	20.331	15.337	32.248	27.524

CV, Coeficiente de variación; HSD, diferencia significativa honesta. Letras diferentes dentro de columnas indican que los valores son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

El diámetro de inflorescencias es una variable morfológica que no se afectó por el potencial osmótico de las soluciones nutritivas empleadas a los 86 y 91 días después del trasplante (Tabla 3), pero sí a los 105 dat ya que hubo diferencias entre tratamientos, destacando la solución nutritiva de potencial osmótico de -0.072 MPa.

Los diámetros de inflorescencia fueron de 10.76 a 12.63 mm y son menores a los reportados por Gandomi *et al.* (2021) ya que obtuvieron inflorescencias con un diámetro de 19.85 mm. En una investigación realizada por Juárez-Rosete *et al.* (2011) se indica que los diámetros de inflorescencia bajo condiciones de fertilización orgánica son de 10.71 mm y en condiciones de fertilización inorgánica y en cultivo semihidropónico, se obtuvieron diámetros de 11.22 mm, lo cual se atribuye al origen genético de la semilla utilizada y a las condiciones de cultivo.

Tabla 3. Diámetro de inflorescencia en manzanilla (*Matricaria recutita* L.) cultivada con solución nutritiva con diferente potencial osmótico (Ψ_o).

Potencial osmótico (MPa)	Días después del trasplante			
	86	91	105	125
	----- mm -----			
-0.036	10.953 ^a	10.957 ^a	11.863 ^b	11.734 ^a
-0.054	11.059 ^a	10.726 ^a	12.027 ^b	11.208 ^a
-0.072	10.763 ^a	11.257 ^a	12.634 ^a	11.415 ^a
-0.090	11.018 ^a	11.174 ^a	11.947 ^b	11.820 ^a
Pr >F	0.667	0.104	0.005	0.166
CV	2.740	1.900	1.400	2.700
HSD	2.740	0.650	0.480	0.898

CV, Coeficiente de variación; HSD, diferencia significativa honesta. Letras diferentes dentro de columnas indican que los valores son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Con respecto al peso seco de las inflorescencias, se obtuvieron pesos menores a 1.0 g. planta⁻¹ (Tabla 4) destacando los que se obtuvieron con el potencial osmótico de -0.072 y -0.090 MPa. Estos datos son inferiores comparados con los obtenidos por Al-Karaki y Otman (2009) quienes obtuvieron en promedio 3.0 g. planta⁻¹ en manzanilla de Jordania y hasta 9.75 g. planta⁻¹ en manzanilla germánica producida en un sistema de cultivo sin suelo.

Los tratamientos a los 105 días después del trasplante no tuvieron diferencias significativas en el peso seco de inflorescencias, esto se podría deber a que el rendimiento de flores está altamente influenciado por la edad y la fuente de fertilización suministrada (Juárez-Rosete *et al.*, 2011), como se observó a los 125 días después del trasplante, donde el tratamiento -0.036 MPa fue estadísticamente el de mayor peso seco. Al respecto Mohammadreza *et al.* (2012) indican que la acumulación de materia seca de manzanilla es afectada por factores ambientales como la temperatura, humedad, nutrientes, factores genéticos y las interacciones de estos.

El nitrógeno afecta directamente la acumulación de materia seca (Mohammadreza *et al.*, 2012). En este sentido, los tratamientos con potencial osmótico de -0.072 y -0.090 Mpa tienen una concentración de NO₃⁻ adecuada para que la planta ejecute sus procesos vitales y en el Ψ_o de -0.036 y -0.054 no es suficiente para tener acumulación de materia seca.

Tabla 4. Peso de las inflorescencias secas en manzanilla (*Matricaria recutita* L.) empleando soluciones nutritivas con diferente potencial osmótico.

Potencial osmótico (MPa)	Días después del trasplante			
	86	91	105	125
	----- g -----			
-0.036	0.173	0.439 ^a	0.530 ^a	0.532 ^a
-0.054	0.100	0.289 ^{ab}	0.596 ^a	0.507 ^b
-0.072	0.265	0.441 ^a	0.726 ^a	0.439 ^c
-0.090	0.286	0.374 ^{ab}	0.726 ^a	0.515 ^b
Pr >F	0.014	0.171	0.103	0.562
CV	24.200	19.900	13.700	15.400
HSD	0.438	0.224	0.263	0.006

CV, Coeficiente de variación; HSD, diferencia significativa honesta. Letras diferentes dentro de columnas indican que los valores son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Las variables analizadas tuvieron tendencia positiva en el tratamiento con un potencial osmótico (Ψ_o) -0.072 MPa en el cual la planta tuvo mayor rendimiento y podría atribuirse a que logra una eficiente asimilación de nutrientes y por consiguiente una mayor acumulación de peso en las inflorescencias del cultivo de manzanilla. Es importante señalar que el rendimiento económico o la parte útil de la manzanilla son las inflorescencias, ya que son las que se utilizan en las diferentes industrias que procesan esta planta aromática (Singh *et al.*, 2011; Giannoulis *et al.*, 2020).

La mayor acumulación de peso de materia seca (g.planta^{-1}), de manzanilla (Tabla 5) se obtuvo con el tratamiento número cuatro (-0.090 Mpa), a los 86 dat, después de este período tendió a disminuir, esto también lo han reportado otros investigadores. Al respecto Rahmati *et al.* (2011), determinó que un suministro adecuado de nitrógeno puede resultar en una mayor acumulación de peso seco por planta. Esto se debe a que hay un aumento en la actividad fotosintética y en el almacenamiento de carbohidratos (Chen *et al.*, 2019).

Aunque una mayor aplicación de fertilizantes nitrogenados aumente la producción de materia fresca de la planta, esto no influye en la obtención de una mayor calidad y rendimiento en las inflorescencias; por lo cual se sugiere tener un balance en el suministro de los macronutrientes (N, P, K y Ca), lo cual coincide con lo explicado por Chauhan *et al.* (2021) quienes señalan que para el cultivo comercial de manzanilla se requiere un suministro equilibrado de nutrientes a lo largo de su ciclo de cultivo.

Tabla 5. Acumulación de materia seca en plantas de manzanilla (*Matricaria recutita* L.) empleando soluciones nutritivas con diferente potencial osmótico.

Potencial osmótico	Días después del trasplante			
(Mpa)	86	91	105	125
	----- g -----			
-0.036	8.113 ^a	8.451 ^a	7.168 ^a	7.597 ^a
-0.054	10.570 ^a	7.242 ^a	6.654 ^a	6.941 ^{abc}
-0.072	8.325 ^a	5.768 ^a	6.829 ^a	7.251 ^{ab}
-0.090	10.924 ^a	7.898 ^a	7.683 ^a	6.294 ^c
Pr >F	0.0474	0.0745	0.5303	0.0025
CV	3.90	13.80	12.30	0.03
HSD	3.256	2.995	2.457	0.6574

CV, Coeficiente de variación; HSD, diferencia significativa honesta. Letras diferentes dentro de columnas indican que los valores son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

En la Tabla 6, se presenta los valores del requerimiento nutrimental para N, P, K, y Ca expresado en kg de nutriente por tonelada de planta seca de manzanilla, con estos valores se puede establecer las bases para ajustar la fertilización al ciclo de cultivo, y de esta manera optimizar los insumos a utilizar (Valdez-Aguilar *et al.*, 2015), y con esto establecer metas de rendimiento y calidad en la producción de manzanilla. Los resultados logrados durante este estudio sugieren que el requerimiento nutrimental para el cultivo de manzanilla es bajo. Sin embargo, soluciones nutritivas con un potencial osmótico inferior a -0.072 no lograrán abastecer las necesidades del cultivo.

Tabla 6. Requerimiento nutrimental de N, P, K y Ca en manzanilla (*Matricaria recutita* L.) expresado por kg de nutriente por tonelada de plantas de manzanilla seca (ramas, tallos e inflorescencias).

Nutrimento	kg
N	32.00
P	3.67
K	39.29
Ca	7.11

Cultivar manzanilla sin una adecuada fertilización no es una opción, es necesario conocer los requerimientos nutrimentales para obtener rendimientos óptimos (Kisić *et al.*, 2019). Si se compara con los datos obtenidos en otros cultivos, así como, en el cultivo de Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) la máxima tasa de extracción de nutrientes se da a partir de los 60 días hasta los 105 para N y P 1.41, 0.09 kg ha⁻¹. día⁻¹ y a los 75 para K, y Ca²⁺, con 1.71; 2.05 kg ha⁻¹. día⁻¹ (Chamorro & Calvache, 2018).

La extracción de nutrientes por planta a través del tiempo en el cultivo de manzanilla se presenta en la Figura 1. El orden de extracción de nutriente fue de $K > N > Ca > P$. Los macronutrientes en mayor concentración fueron N y K siendo los más importantes en la producción de plantas aromáticas y medicinales. Debido a que la deficiencia de N inhibe el crecimiento de los brotes/botones florales (Kováčik *et al.*, 2008) y por lo tanto reduce el rendimiento.

En el caso de K este efecto puede deberse a que es cofactor de más de 40 enzimas y regulador de turgencia celular (Mengel & Kirkby, 2001). El comportamiento de la absorción de potasio en un cultivo de girasol (*Helianthus annuus*) se puede comparar con el cultivo de manzanilla ya que su comportamiento en la planta es semejante, siendo que el potasio es importante en la etapa de floración, ocupando un total del 65 % del que se va a consumir en todo el cultivo, en esta especie el contenido de potasio consigue su valor máximo en el tallo al comienzo de la floración que, junto a las hojas, son grandes consumidoras de potasio.

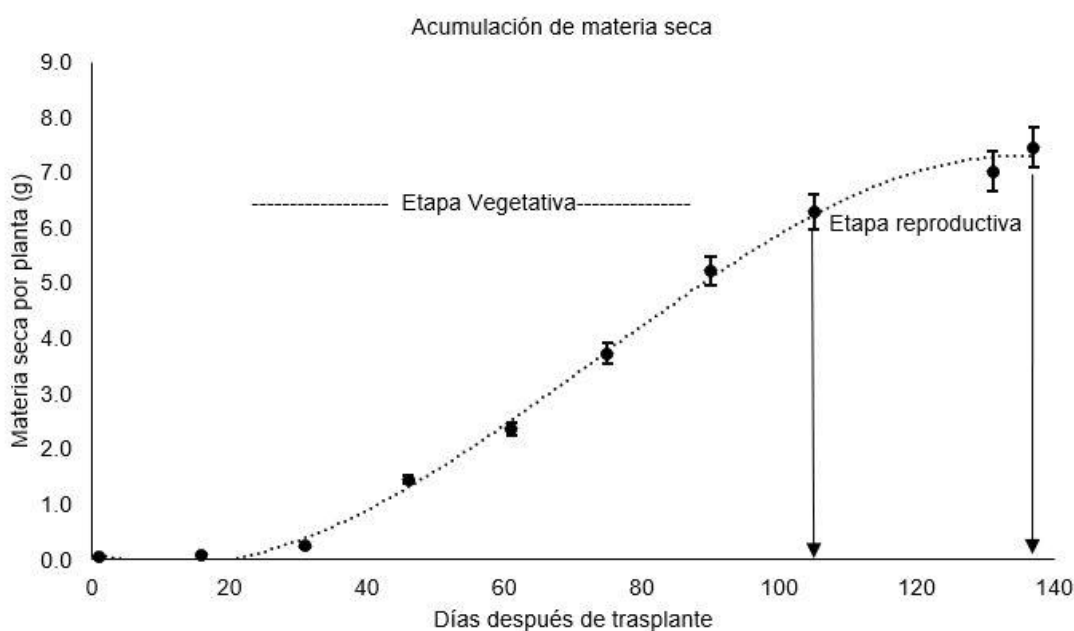


Figura 1. Acumulación de materia seca por planta (g) durante el ciclo de vida en las plantas de manzanilla (*Matricaria recutita* L.) cultivada a un Ψ_0 de -0.072 Mpa en la solución nutritiva. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos.

Posteriormente el potasio emigra hacia el receptáculo y más tarde a las semillas. Al final del desarrollo de la planta el 50 % del potasio está en los tallos, el 25 % en los receptáculos y solo el 7 % en las semillas (Cortijo & Gimeno, 2012). Desde el inicio de la etapa vegetativa hasta el final de la etapa reproductiva se observó que la mayor acumulación de N, K y Ca se registró a los 105 dat y para P a los 137 dat, lo cual es

similar con lo descrito por (Juárez-Rosete *et al.*, 2011). Se obtuvo la mayor extracción de Ca y Mg a los 108 dat, considerando las diferencias entre las estructuras y ubicación de estas; en los diferentes estudios realizados en la aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos (Morais *et al.*, 2006, Kisić *et al.*, 2019; Gandomi *et al.*, 2021) no consideran la aplicación de Ca en sus investigaciones. La extracción de fósforo fue inferior al resto de los nutrientes, no se presentó al inicio de la etapa vegetativa, este comportamiento se pudo deber en los primeros días del cultivo la acumulación de P pudo ser mayormente en la raíz (Valdez-Aguilar *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos en esta investigación son equivalentes a los encontrados en los cultivos pertenecientes a la familia Asteraceae, donde N y K son los nutrientes con mayor acumulación y extracción en el ciclo del cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat), caléndula (*C. officinalis* L.) en un suelo Franco-arcilloso (Valdez-Aguilar *et al.*, 2015) y Stevia (*Stevia Rebaudiana*) obteniendo la tasa de absorción más alta a los 105 dat (Chamorro & Calvache, 2018).

Conocer tanto los valores de requerimiento nutrimental de los cultivos, así como la curva de acumulación de materia seca, permite precisar la nutrición de los cultivos, siempre y cuando se considere el aporte de nutrientes del suelo, y la eficiencia de recuperación de los mismos, con estas consideraciones se puede elaborar un programa de nutrición que permita el ahorro de productos fertilizantes y evite la contaminación tanto del suelo como de mantos acuíferos, pues debido al uso inadecuado de fertilizantes minerales (es decir, cuando se utilizan tanto en exceso como en deficiencia), sobre todo nitrogenados y fosfatados, muchos suelos productivos han visto afectada su capacidad de funcionar, como lo demuestran no sólo los indicadores químicos sino también los físicos y biológicos (Krasilnikov *et al.*, 2022).

Un dato no considerado en esta investigación es la acumulación de nutrientes en la zona radicular, ya que para el cultivo de Crisantemo la mayor acumulación de P se observó con mayor presencia en la raíz que en la flor (Valdez-Aguilar *et al.*, 2015), este resultado podría ser similar en el cultivo de manzanilla, por lo cual se debería considerar analizar para tener datos más específicos sobre la extracción y asimilación de nutrientes en los diferentes órganos del cultivo de manzanilla. El hecho de que, no se analizó la raíz implica una subestimación del requerimiento nutrimental de 4.7 %, debido a que la distribución de materia seca en este cultivo Hassan *et al.* (2025) indican que el órgano en cuestión capta ese porcentaje de materia seca.

En la Figura 2 representa los valores de extracción de nutriente por planta expresados en mg para los nutrientes N, P, K, y Ca con los resultados obtenidos se pueden establecer programas de fertilización para el cultivo de manzanilla, para obtener una dosis de fertilizante, se requiere evaluar el suministro edáfico nutrimental y considerar la eficiencia de recuperación del fertilizante (Sánchez-Prado *et al.*, 2018). La realización de un programa de fertilización en el cultivo de manzanilla para el caso de potasio (K) es necesario considerar las ppm que se encuentran en suelo ya que cuando hay un suministro de K de 350 ppm, no hay necesidad de utilizar fertilizantes potásicos para aumentar el rendimiento, en caso de que se suministre este nutrimento su uso puede disminuir la calidad de producción de la manzanilla (Mohammadreza *et al.* 2012).

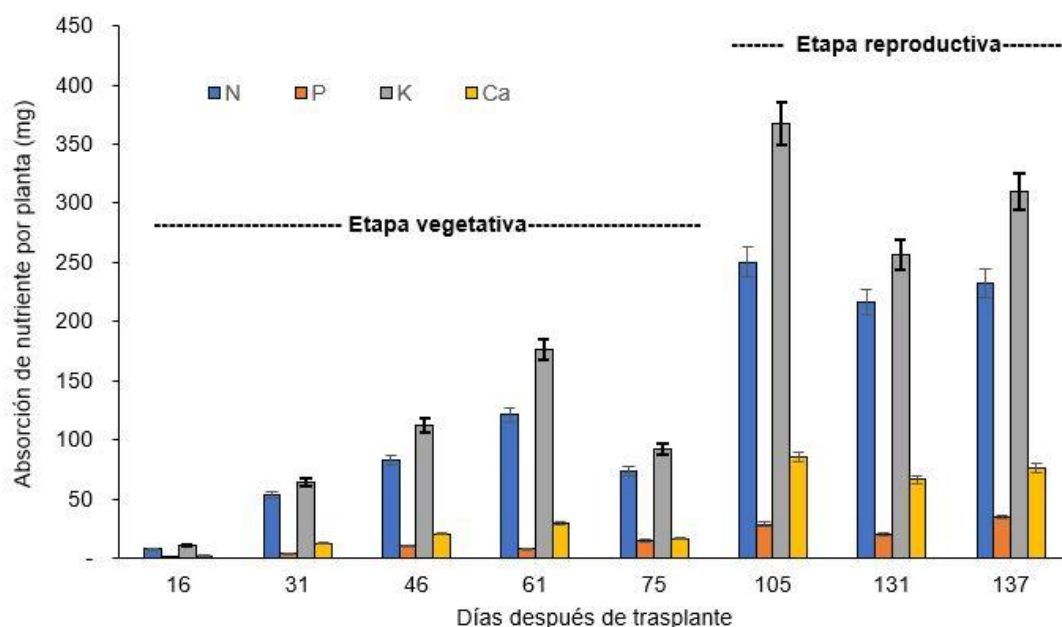


Figura 2. Extracción de N, P, K y Ca mg. Planta⁻¹ en el cultivo de manzanilla (*Matricaria recutita* L.) obtenidos en el tratamiento con un potencial osmótico Ψ_o de -0.072 Mpa durante el ciclo de cultivo. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos.

Los resultados demuestran que la aplicación de nutrientes en diferentes cantidades en el cultivo de manzanilla diferirá en la producción y calidad de la inflorescencia afectando su peso y tamaño. Una fertilización fraccionada dependiendo de la etapa fenológica del cultivo puede optimizar la producción y rendimiento de este. Un momento crítico en la producción de la manzanilla es el tiempo en que se cosechan las inflorescencias, ya que las inflorescencias más maduras tienden a perder peso y por ende calidad.

Conclusiones

El potencial osmótico de -0.072Mpa con una concentración de Steiner al 100 % promovió el mayor rendimiento de inflorescencias secas para el cultivo de manzanilla. La extracción de nutrimento por planta fue en el orden $K > N > P > Ca$ con ellos se podrá estimar la demanda nutrimental para los programas de fertilización.

El requerimiento nutrimental (kg) de la *Matricaria recutita* por tonelada de materia seca es, N, 32.00; P, 3.67; K, 39.29 y Ca, 7.11.

Contribución de los autores

“Conceptualización del trabajo, JMM, CRJR; desarrollo de la metodología, JMM, CRJR, JAAC, GAS.; manejo de software, JMM, JAAC, GAS; validación experimental,

CRJR, JAAC, GAS; análisis de resultados, JAAC, GAS; Manejo de datos, JMM, CRJR, JAAC; escritura y preparación del manuscrito, JMM, CRJR; redacción, revisión y edición, GAS, CAAG; administrador de proyectos, CRJR, CAAG; adquisición de fondos, CRJR. "Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo."

Financiamiento

"Esta investigación no recibió financiamiento externo"

Declaraciones éticas

No aplica.

Declaración de consentimiento informado

No aplica.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para estudios de Maestría BECA 785472.

A la empresa Plantamex® por la donación de las semillas de manzanilla usadas en esta investigación.

Conflicto de interés

"Los autores declaran no tener conflicto de interés".

Referencias

- Ahmad, R. A. H., Twaij, S. D. A. A., & Ibrahim, A. M. (2024). Phytohormones, bio and mineral fertilizers effects on the growth and secondary compounds of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 56(3), 1271-1281. <https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.3.34>
- Ahmed, H., El-Sallami, I., Abdul-Hafeez, E. Y., & Ibrahim, O. H. (2022). Response of growth, flowering, nutrient uptake and essential oil of German chamomile to organic nutrition. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 53(5), 78-92. <https://doi.org/10.21608/ajas.2022.166580.1184>
- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial No. 10. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C.*
- Alemán, C. C., Marques, P. A. A., & Pacheco, A. C. (2016). Chamomile production using supplementary irrigation and organic fertilization in sandy soils. *Revista Caatinga*, 29 (02), 313-319. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n207rc>
- Alhasan, A. S., Khadim A. A., Al-Ameri d. T., Saleh O. S., Al-Alwash F. H. J. & Kadkim H. R. (2022) Effect of Applying Different Levels of Nitrogen Fertilizer on Growth and Essential Oil of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). IOP Conference Series, *Earth Environmental Science*, 1060 012102. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012102>
- Al-Karaki, G. N., & Othman, Y. (2009). Soilless cultivation of some medicinal and aromatic herb plants under the conditions of Arabian Gulf region. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 21 (2), 64-70. https://www.researchgate.net/publication/280134633_Soilless_cultivation_of_some_medicinal_and_aromatic_herb_plants_under_the_conditions_of_Arabian_Gulf_region#fullTextFileContent

- Barbosa S., B., Pauletti V., Antunes R. L. & Weiss S. R. (2015) Aplicação de potássio na produção de camomila (*Chamomilla recutita*). *Scientia Agraria*, 16 (3), 23-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99546852001>
- Ben-Gal, A., Borochoy-Neori, H., Yermiyahu, U., & Shani, U. (2009). Is osmotic potential more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity?. *Environmental and experimental botany*, 65 (2-3), 232-237. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.09.006>
- Berstch, F. (2005). Estudio de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Instituto de la potasa y el fósforo. Informaciones agronómicas. 57, 1-10. <https://www.yumpu.com/es/document/view/23491040/estudios-de-absorcion-de-nutrientes-como-apoyo-a-las>
- Castro-Restrepo, D., Díaz-García, J. J., Serna-Betancur, R., Martínez-Tobón, M. D., Urrea, P. A., Muñoz-Durango, K., & Osorio-Durango, E. J. (2013). Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales. Editorial Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente. <https://repositorio.uco.edu.co/items/cb4506ae-95c8-4934-b48e-259ab16d3def>
- Chamorro, P. O. B., & Calvache, M. (2018). Acumulación de nutrientes en *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Alfa revista de investigación en ciencias agronómicas y veterinarias*, 2(5), 82-89. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v2i5.40>
- Chauhan, R., Singh, S., Kumar, V., Kumar, A., Kumari, A., Rathore, S. Kumar, R., & Singh, S. (2022). A comprehensive review on biology, genetic improvement, agro and process technology of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Plants*, 11(1), 29. <https://doi.org/10.3390/plants11010029>
- Chen, J., Liu, L., Wang, Z., Sun, H., Zhang, Y., Bai, Z., Song, Lu Z., & Li C. (2019). Nitrogen fertilization effects on physiology of the cotton Boll-Leaf system. *Agronomy*, 9(6) 271. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060271>
- Cortijo J., & Gimeno, H. (2012). El abonado del girasol como mantenimiento de la fertilidad del suelo. *Revista Nutrición y sanidad vegetal*. 114-118. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_2012_948_114_118.pdf
- Doni F., L., Crachineski, J. J., Milléo, M. V. R., & Corrêa Jr, C. (1999). Evaluation of chamomile cultivars (*Chamomilla recutita* (L.) Rauschert) in different handlings of pruning. *Acta Horticulturae*, 502, 187-190. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.502.29>
- Ebrahimi F., Salehi A., Movahedi M., Mirshekari A., Hamidian M. y Hazrati, S. (2021). Biochemical response and nutrient uptake of two arbuscular mycorrhiza-inoculated chamomile varieties under different osmotic stresses. *Botanical Studies*, 62(1), 1-17. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-600084/v2>
- Gandomi, A., Amiri, B., Sharafzadeh, S., Bazrafshan, F., & Hazrati, S.. (2021). The response of different fertilizer applications on chamomile production and their quality characteristics. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 20(2), 107-119. <https://doi.org/10.24326/asphc.2021.2.11>
- Giannoulis, K. D., Kamvoukou C. A., Gougoulis N., Wogiatzi E. (2020). *Matricaria chamomilla* L. (German chamomile) flower yield and essential oil affected by irrigation and nitrogen fertilization. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 32(5), 328-335. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20210125147>
- Hassan, T. S., Ali, A. S., Jafarina, M., & Ebadi, M. (2025). Screening, molecular identification, and valuation the effects of indigenous Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on growth indices and nutrient uptake of chamomile (*Matricaria chamomilla*) under saline conditions. *Frontiers in microbiology*, 16, 1551310 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1551310>
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Juárez-Rosete, M. E., Bugarín-Montoya, R., Juárez-López, P., & Cruz-Crespo, E. (2013). Hierbas aromáticas y medicinales en México, Tradición e innovación. *Revista Bio Ciencias*, 2(3), 119-129. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.03.06>
- Juárez-Rosete, C. R., Rodríguez-Mendoza, M. N., Trejo-Téllez L. I., & Aguilar-Castillo J. A. (2011). Inorganic and organic fertilization in biomass and essential oil production of *Matricaria recutita* L. *Acta Horticulturae*, 947, 307-311. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.39>
- Kisić, I., Kovač M., Ivanec J., Bogunović I., Tkalec, G., & Hannel, L. (2019). Effects of organic fertilization on soil properties and chamomile flower yield. *Organic Agriculture*, 9(3), 345-355. <https://doi.org/10.1007/s13165-018-0231-0>

- Kováčik, J., Gruz, J., Backor, M., Tomko, J., Strnad, M., & Repcak M. (2008). Phenolic compounds composition and physiological attributes of *Matricaria chamomilla* grown in copper excess. *Environmental and Experimental Botany*, 62, 145-52. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.07.012>
- Krasilnikov, P., Taboada, M. A., & Amanullah. (2022). Fertilizer use, soil health and agriculture sustainability, *Agriculture*, 12(4), 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040462>
- Marschner, P. (2012). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Mengel, K., Kirkby, E., Kosegarten H., & Appel T. (2001). Principles of plant nutrition. *Springer Dordrecht*. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Milla-Escobar, K. J. (2008). La manzanilla, una forma de consumo global. Iberoforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana, III (6), 37-57. <https://ibero.mx/iberoforum/6/pdf/karlam.pdf>
- Morais, T.C., Vieira, M.C., Heredia, Z, N.A., Texeira, I.R., & Ramos, M.B.M. (2006). Producao de biomassae teor de óleos essenciais da camommila em funcao das adubacoes on fosforo e nitrogenio. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8(4), 120-125. https://www.sbpmed.org.br/admin/files/papers/file_982XTBIUDe0.pdf
- Mohammadreza, N., Mohammad, M. S., Houseyn, Z., & Bahari B. (2012). Effects of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on some agromorphological and biochemical traits of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6 (2), 277-283. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1257>
- Pachepsky, Y., Yakirevich, A., Ponizovsky, A. A. & Gummatov, N. (2024). The osmotic potential of soil solutions in salt tolerance studies, Following M. Th. van Genuchten's innovation. *Vadose Zone Journal*, 23, e20299. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20299>
- Pedraza, R., & Henao, M. C. (2008). Composición del tejido vegetal y su relación con variables de crecimiento y niveles de nutrientes en el suelo en cultivos comerciales de menta (*Mentha spicata* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 186-196. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v26n2/v26n2a03.pdf>
- Rahmati, M., Azizi, M., Khayyat, M. H., Nemati, H., & Asili, J. (2011). Yield and Oil Constituents of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) Flowers Depending on Nitrogen Application, Plant Density and Climate Conditions. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 14(6), 731-741. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2011.10643996>
- Rostaei, M., Fallah, S., Carruba, A., & Lorigooini, Z. (2024). Organic manures enhance biomass and improve content, chemical compounds of essential oil and antioxidant capacity of medicinal plants, A review. *Heliyon*, 10(17), e36693. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36693>
- Sánchez-García, P., Molinos-da-Silva, C., Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (2016). Diagnóstico nutrimental en plantas. In Alcántar- González G., Trejo-Téllez L.I. y Gómez-Merino F. C. *Nutrición de cultivos*. (pp. 185-216) Ed. Mundi-Prensa.
- Sánchez-Prado, J. J., Bugarin-Montoya, R., Alejo-Santiago G., Juárez-Rosete C. R., Aburto-González C. A., & Caro-Velarde F. J. (2018). Incremento del rendimiento y extracción nutrimental en Jamaica mediante soluciones nutritivas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(16), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1838>
- Sancho, H. (1999). Curvas de absorción de nutrientes, importancia y uso en los programas de fertilización. Instituto de la potasa y el fósforo. *Informaciones agronómicas*, 36, 11-13. <http://intranet.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/CURVAS%20DE%20ABSORCION%20DE%20NUTRIENTES.pdf>
- Sharifi Rad., M., Nazaruk J., Polito, L., Morais B. M. F. B., Rocha, J. E., Coutinho, H. D. M., Salehi, B., Tabanelli G., Montanari, C., Del mar Contreras, M., Youzaf Z, Setzer, W. N., Ver, D. R., Martorelli, M., Sureda, A., Sharifi R J., (2018). *Matricaria* genus as a source of antimicrobial agents, from farm to pharmacy and food applications. *Microbiological Research*, 215, 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.06.010>
- SIAP. (2024, August 10). Cierre de la producción agrícola por cultivo. www.siap.gob.mx.

Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., & Srivastava, M. K. (2011). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.), an overview. *Pharmacognosy Reviews*, 5 (9),85-95. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.79103>

Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. Proceeding sixth international congress on soilless culture. Wageningen. The Netherlands. p 633-650.

Valdez-Aguilar, L. A., Hernández-Pérez, A., Alvarado-Camarillo, D., & Cruz-Altun, Á. (2015). Diseño de un programa de fertilización para crisantemo en base a extracción de macronutrientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(12), 2263-2276. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.760>

Wu, H., Yang, K., Dong, L., Ye, J., & Xu, F. (2022). Classification, Distribution, Biosynthesis and regulation of secondary metabolites in *Matricaria chamomilla*. *Horticulturae*, 8(12),1135. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121135>

ARTÍCULO EN PRENSA