



Establecimiento de cultivos de *Melissa officinalis* a campo abierto en áreas verdes del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa

Establishment of *Melissa officinalis* crops in the open field in green areas of Technological Institute of Xalapa

Mayra Berenice Muñoz-Fonseca^{1*}, Francisco Javier Landa-Huerta¹, Silvia Albarrán Díaz¹, María del Carmen Chávez-Estudillo¹.

¹Tecnológico Nacional de México / ITS de Xalapa, Av. Del Tecnológico S/N, colonia Santa Bárbara, C.P. 91098, Xalapa, Veracruz.

*Autor de correspondencia: mayra.mf@xalapa.tecnm.mx

Recibido 11 de julio 2022; recibido en forma revisada 17 septiembre de 2022; aceptado 30 de octubre 2022

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue desarrollar cultivos de *Melissa officinalis* a campo abierto, asegurando que las plantas pudieran adaptarse a las condiciones ambientales para favorecer su propagación. Uno de los procedimientos clave para el establecimiento del cultivo fue la preparación del terreno de siembra por lo cual, se decidió utilizar un suelo compostado para la siembra de las plantas. Se realizaron análisis en suelo virgen y compostado tales como: determinación de pH, densidad aparente, densidad real y contenido de humedad siguiendo los métodos de análisis de la NOM-021-RECNAT-2000; también se utilizó el método de calcinación de Schulte & Hopkins (1996) para la determinación de materia orgánica en ambos suelos. Los resultados fueron analizados mediante pruebas t de Student con el programa SigmaStat 3.5 y se presentan a continuación; para el

suelo virgen se obtuvo un pH ($\bar{x} = 4.33$) indicativo de un suelo fuertemente ácido. La densidad aparente indicó que el suelo es de tipo arcilloso y la densidad real ($\bar{x} = 2.23$ g/L) indicó bajas cantidades de materia orgánica y minerales. El contenido de humedad se encuentra bajo la zona denominada coeficiente de marchitez. El porcentaje de materia orgánica ($\bar{x} = 0.402$ %), indicó bajo contenido de carbono y minerales. Al comparar los valores obtenidos del suelo virgen con el compostado, solo se establecieron diferencias significativas ($p \leq 0.001$) con el pH ($\bar{x} = 5.24$) para suelo compostado. En conclusión, el estudio de suelo virgen y suelo compostado indicó que la calidad de ambos no es favorable para desarrollo satisfactorio de *Melissa officinalis* limitando el crecimiento y propagación de la planta. A pesar de las condiciones desfavorables, el cultivo de *Melissa officinalis* presento adaptabilidad a las condiciones climáticas y de suelo de la zona del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.

Palabras Clave: Suelo virgen, suelo compostado, densidad aparente, densidad real.

ABSTRACT

The objective of the research was to develop crops of *Melissa officinalis* in the open field, ensuring that the plants could adapt to the environmental conditions to favor their propagation. One of the key procedures for the establishment of the crop was the preparation of the planting land, we decided to use a composted soil for planting the plants. The measurements on virgin and composted soil such as: determination of pH, bulk density, real density, and moisture content were made using the NOM-021-RECNAT-2000; the Schulte & Hopkins (1996) calcination method was used for determination of organic matter in both soils. Student tests and SigmaStat 3.5 program were used to analyzed the results and they are presented below: for the "virgin" soil, a pH $\bar{x} = 4.33$) indicative of an acid soil was obtained. The apparent density highlights that the soil is clayey and the real density ($\bar{x} = 2.23$ g/L) highlights low amounts of organic matter and minerals. The moisture content is below the zone called the wilting coefficient. The percentage of organic matter ($\bar{x} = 0.402$ %), highlights low content of carbon and minerals. When we compared the values obtained from the "virgin" soil with the composted one, significant differences ($p \leq 0.001$) were only found with the pH ($\bar{x} = 5.24$) for composted soil. In conclusion, the study of "virgin" soil and composted soil highlights that the quality of both is not favorable for the satisfactory development of *Melissa officinalis*, limiting the growth and propagation of the plant. Despite the unfavorable conditions, the cultivation of *Melissa officinalis* shows adaptability to the climatic and soil conditions of the area of Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (Technological Institute of Xalapa).

Keywords: Virgin soil, composted soil, apparent density, real density.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, se cuenta con áreas verdes, las cuales se están aprovechando para realizar actividades de investigación, biorremediación y de fisiotecnia vegetal tales como el establecimiento de cultivos de diversas plantas medicinales; una de ellas es *Melissa officinalis* (toronjil), que ha sido ampliamente estudiada por los compuestos que se le pueden extraer, como: ácidos hydroxycinámicos, y aceites esenciales donde los mayores componentes son el citral, citronelal, geraniol, nerol y linalol (Acevedo et al., 2013; Esquivel & Vargas, 2007). El aprovechamiento de las áreas verdes en la institución genera diversas oportunidades para los alumnos, ya que pueden realizar proyectos de diversas materias, servicio social apoyando en el cuidado y mantenimiento del área, residencias profesionales y tesis. Además, al establecer los cultivos se garantiza una estandarización en el material vegetal que se utilizara para el desarrollo de diversos proyectos. Por lo anterior, el presente trabajo se enfocó en desarrollar cultivos de *Melissa officinalis* a campo

abierto, asegurando que las plantas pudieran adaptarse a las condiciones ambientales para favorecer su propagación. Se describen los procedimientos llevados a cabo para el establecimiento de los cultivos y se comparan las características del suelo virgen y compostado usado durante la siembra. Es importante mencionar que la propagación de esta planta medicinal es importante desde diferentes criterios, desde su valor intrínseco como planta, su capacidad de producir metabolitos secundarios tanto en cantidad como calidad, por su importancia social sobre saberes ancestrales y su posible aprovechamiento en las industrias alimentaria y farmacéutica.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló durante los meses de febrero a junio de 2022 y el procedimiento llevado a cabo para el establecimiento de los cultivos fue el siguiente:

1. Selección y preparación del terreno de siembra. La selección del terreno se localizó al interior del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa con domicilio en calle Avenida del Tecnológico (antes

Sección 5ta de la Reserva Territorial) sin número, colonia Santa Bárbara, en la ciudad Xalapa; el área de siembra presentó una forma irregular con un área de 16.81 m². La selección del terreno se realizó considerando las necesidades de sol de la planta, así como el fácil acceso a la zona; se retiraron hierbas, piedras y raíces, se marcaron 10 sitios donde se realizaron perforaciones de 30 cm de profundidad y 30 de diámetro.

Siguiendo los lineamientos de la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002), se recolectaron muestras de suelo para su evaluación; se generaron 5 muestras compuestas, que contenían secciones de tierra tomadas del interior de cada uno de los diez orificios realizados de acuerdo con lo indicado por la norma; se recolectaron en bolsas de plástico con cierre hermético y después se transportaron al laboratorio protegidas de la luz donde se les dio el primer tratamiento que consistió en secado, molienda, tamizado y pesado. Para el proceso de secado, el contenido de las bolsas se distribuyó en charolas, dentro de las instalaciones del laboratorio de la

institución evitando la exposición de luz solar directa y asegurando una buena ventilación para favorecer el secado homogéneo, adicionalmente se realizó un mezclado de la tierra de forma manual cada 24 horas hasta completar 72 horas. También se generaron 5 muestras compuestas de tierra con material compostado, arena y grava, las cuales fueron tratadas de igual manera, a dicho material en lo sucesivo se llamó “suelo compostado”. Después de transcurrido el tiempo de secado, se resguardaron en bolsas herméticas para su posterior molienda y tamizado, resguardándolas finalmente en bolsas con cierre hermético con capacidad aproximada de 200 g en gavetas oscuras para evitar la exposición a la luz hasta su análisis. Siguiendo los métodos de análisis de la “NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis” (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002), se llevó a cabo la determinación de pH, densidad aparente, densidad real y contenido de humedad en el suelo. También se llevó a cabo la

determinación de materia orgánica por calcinación, mediante el método Schulte & Hopkins (1996).

2. Trasplante y fertilización. Se adquirieron 10 plantas de *Melissa officinalis* en maceta de un reconocido vivero de la ciudad de Xalapa y se realizó el trasplante al suelo en el mes de marzo. Se realizó una primera fertilización del suelo para favorecer un buen drenado. Por lo cual, se preparó una mezcla formada por 4 partes de tierra virgen, 4 partes de composta, 1 parte de arena y 1 parte de grava; se rellenó la parte baja de las perforaciones, se desprendió un poco de la tierra que tenían las plantas y con mucho cuidado sin tocar las raíces, se colocaron en los orificios cada una de las plantas y se rellenó con suelo tratado.

3. Muestreo y monitoreo de plagas y enfermedades. El muestreo de plagas y enfermedades se realizó dos veces por semana, con la finalidad de identificar positivamente las más comunes y poder realizar un plan de manejo de estas. También se llevó a cabo la medición diaria de parámetros ambientales como humedad y temperatura con un termohigrómetro marca UNI-T modelo A10-T. Se registro la

luminosidad en 14 puntos de muestreo mediante un luxómetro marca UNI-T modelo UT383.

5. Tutorio del cultivo. Se evaluó la forma del crecimiento de la planta, para permitir que se mantuviera en forma vertical y que su crecimiento se realizara hacia arriba de forma erguida y sin tocar el suelo.

6. Control de maleza. De manera semanal se retiró manualmente las hierbas que crecieron en las zonas cercanas al cultivo. También se eliminó todas las plantas indeseables que germinaron y crecieron dentro del cultivo ya que compiten por agua, luz y nutrientes, lo cual puede disminuir el rendimiento de éste.

Análisis estadístico. Los resultados de las determinaciones de pH, densidad aparente, densidad real, contenido de humedad y materia orgánica en suelo virgen y suelo compostado fueron analizados mediante pruebas t de Student con el programa SigmaStat 3.5, para los datos que cumplieron con el supuesto de normalidad e igualdad de varianza y para los que no, se utilizó la prueba estadística Mann-Whitney-Wilcoxon.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las determinaciones de pH, densidad aparente, densidad real, contenido de humedad y materia orgánica en suelo virgen y suelo compostado fueron realizadas por quintuplicado y se presentan a continuación:

Determinación de pH. Los resultados para el suelo virgen fueron de $\bar{x} = 4.33$ y para el suelo compostado de $\bar{x} = 5.24$. El análisis de medias mediante la prueba t de Student mostró que existe una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.001$) entre los suelos, por lo que, el adicionar composta, arena y grava al suelo virgen fueron condiciones favorables que disminuyeron la acidez.

Densidad aparente. Esta determinación solo se realizó en suelo virgen ya que el suelo compostado después de pasar por el proceso de mezclado y tamizado no formaba terrones del tamaño adecuado para llevar a cabo la determinación. Los resultados obtenidos del suelo virgen fueron de $\bar{x} = 1.016 \text{ g/cm}^3$ este parámetro permitió conocer el estado físico del suelo ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad.

Densidad real. Los resultados obtenidos de la determinación de la densidad real para suelo virgen fueron $\bar{x} = 2.270 \text{ g/L}$ y para suelo compostado $\bar{x} = 2.235 \text{ g/L}$. El análisis de medias mediante la prueba t de Student mostró que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.453$) entre los suelos.

Contenido de humedad en el suelo. Los resultados para el suelo virgen fueron de $\bar{x} = 6.40 \%$ y para el suelo compostado $\bar{x} = 7.43 \%$, el análisis estadístico de los dos suelos se llevó a cabo mediante la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon, no habiendo diferencias significativas ($p = 0.095$).

Contenido de material orgánica. Los resultados para el suelo virgen fueron de $\bar{x} = 0.40\%$ y para el suelo compostado de $\bar{x} = 0.31\%$. El análisis de medias mediante la prueba t de Student mostró que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.260$) en contenido de materia orgánica de ambos suelos.

La temperatura ambiental registrada durante el periodo de monitoreo de los cultivos de marzo a junio fue de $\bar{x} = 27.36 \text{ }^\circ\text{C}$ y la humedad relativa de $\bar{x} = 58.93 \%$.

En cuanto a la cantidad de luz que recibieron las zonas establecidas como puntos de muestro se obtuvieron los siguientes resultados $\bar{x} = 150000$ lux y la cantidad total recibida por zona fue desde los 90 000 lux a 140000 lux.

En cuanto a la identificación enfermedades y plagas, el cultivo presento diversas afectaciones como la presencia de hongos, ya que las plantas presentaron marchitamiento en las hojas “viejas”, con decoloración a color amarillo y marrón en las orillas, estas características se presentaron en el mes de abril. También se identificó la presencia de pulgones, pequeños insectos de color verde claro, que saltan al mover las hojas de la planta, fueron visibles a partir del mes de mayo, periodo con temperaturas altas de hasta 35°C y poca presencia de humedad. Para su control, se aplicó una solución jabonosa de ajo-cebolla de acuerdo con lo indicado en la guía de cultivo de AGEXPORT (s/f) para *Melissa officinalis*.

Se identifico la probable deficiencia de nutrientes como el hierro ya que las hojas jóvenes adquirieron un color amarillo y su crecimiento limitado. También se observó probable deficiencia de potasio ya que la

planta se marchito con facilidad en días secos y se observó flácida.

Derivado al poco crecimiento de las plantas de *Melissa officinalis* durante el periodo que comprende marzo – mayo, la actividad de tutorio no fue realizada, por el contrario, se buscaron otras medidas como riego más frecuente, uso de fertilizantes comerciales para favorecer su desarrollo.

El control de la maleza se realizó principalmente durante el mes de marzo y principios de abril, pero posteriormente se empezó a de observar que las plantas presentaron dificultad para crecer y el suelo se empezó mostrar erosionado, por lo cual se decidió suspender esta actividad para favorecer la retención de agua, mediante el riego diario 2 ves al día y modificar las condiciones del suelo.

Los resultados obtenidos de la determinación de pH de ambos suelos (virgen y compostado) muestran que al adicionar composta, arena y grava al suelo virgen se disminuyó la acidez y de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002), se pudo clasificar al suelo virgen (pH $\bar{x} = 4.33$) como fuertemente ácido con valores inferiores a 5, y al

suelo compostado (pH \bar{x} = 5.24) como moderadamente ácido con valores entre 5.1 a 6.5. Es importante mencionar que los suelos con pH entre 6.5 y 7.0 dan un mejor rendimiento para siembra y mayor productividad (Prasad & Power, 1997), un suelo ácido o alcalino puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados. Valores extremos del pH pueden afectar la estructura del suelo (Benton, 2003). Estas condiciones no fueron favorables para el desarrollo de las plantas, para el caso de *Melissa officinalis* su desarrollo se vio limitado por este factor.

Los suelos con valores entre 1.0 y 1.2 g/cm³ de densidad aparente de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002), clasifican en densidad baja y se identifican como suelos de tipo arcilloso. El valor obtenido para el suelo virgen \bar{x} = 1.016 g/cm³ lo ubican como arcilloso, por lo cual puede presentar un gran desafío principalmente debido al pobre drenaje. Se considerará a futuro añadirle año tras año materia orgánica en forma de composta, para lograr

que sean más esponjoso y aireado. También será importante mezclarlo con arenas u otros elementos que ayuden a aumentar su permeabilidad, con el fin de impedir una excesiva retención de agua. Estas acciones permitirán poco a poco conseguir un sustrato más productivo y apto para el laboreo, lo que repercutirá directamente en la cantidad y calidad de las cosechas que en un futuro se obtenga de la planta *Melissa officinalis*.

La densidad real varía con la proporción de los elementos que constituyen el suelo, aquellos que no contienen cantidades anormales de minerales pesados, están alrededor de 2.65 g/L si la cantidad de materia orgánica no sobrepasa a 1% (Beltrán, 2018). Los resultados obtenidos tanto en suelo virgen como compostado tienen valores inferiores a 2.65 g/L lo cual puede indicar que hay bajas cantidades de materia orgánica y minerales. Es evidente que adicionar composta al suelo tratado no marcó una diferencia significativa favorable para el cultivo la planta. A futuro se pretende realizar un arado a una profundidad mínima de 30 cm y posteriormente hacer un encalado mediante la aplicación de un

material alcalinizante al suelo, cuyo objetivo sea reducir la acidez de este e incrementar la disponibilidad de nutrientes, en especial calcio y magnesio.

El contenido de humedad es un indicador básico del mecanismo de retención de agua entre los poros que constituyen el suelo. Los valores que se obtuvieron del suelo virgen y suelo compostado ($\bar{x} = 6.40\%$ y $\bar{x} = 7.43\%$ respectivamente) indican que la cantidad de agua que caracteriza el suelo de siembra, no se encuentra disponible para ser absorbida por las plantas, se encuentra bajo la zona denominada coeficiente de marchitez (Figura 1), por lo que el agua se encuentra retenida por fuerza de succión que es mayor que la fuerza de absorción de las raíces y es característica de suelos arcillosos (Darwich, 2006).

Esto confirma lo ya reportado para el suelo virgen con los resultados de la densidad aparente. Resulta relevante comentar que, aunque el suelo compostado tiene un contenido de humedad mayor, no es suficiente para salir de la zona de marchitez, ya que en suelos arcillosos el contenido de humedad debe

ser superior a 12 % para que se considere el agua útil (Figura 1).

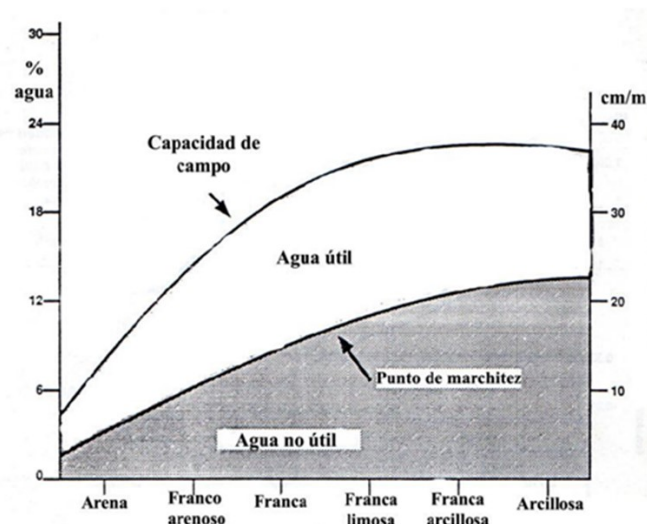


Figura 1. Agua útil en diferentes clases texturales (Darwich, 2006). Tomada de: "Interpretación de perfiles edáficos como parte de un paisaje a fin de definir manejos sustentables" por Alconada Magliano, M. M., 2017.

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002), los suelos con un porcentaje inferior a 0.5 % de materia orgánica se consideran con muy bajo contenido, los resultados del contenido en suelo virgen y compostado ($\bar{x} = 0.40\%$ $\bar{x} = 0.31\%$ respectivamente) al ser menores que 0.5 % indicaron que la cantidad de minerales como carbono, nitrógeno, aluminio, calcio, sodio y hierro estaban en menor cantidad disponible. Los factores por los que la cantidad de materia orgánica

disminuyó probablemente se deba a factores climatológicos, el tipo de suelo, el tipo de siembra y cantidad de lluvia.

Los registros de parámetros ambientales como la temperatura, la humedad relativa y la luminosidad fueron los esperados de acuerdo a las características del climáticas de la región de Xalapa. El desarrollo óptimo de la planta lo alcanza sobre temperaturas templadas entre los 18 y 25°C (AGEXPORT, s/f), en el área de siembra se registró una temperatura ligeramente superior ($\bar{x} = 27.36^{\circ}\text{C}$) que también pudo influir en su adecuado crecimiento. Con respecto al contenido de humedad, las condiciones óptimas para el cultivo son entre 50-70%, es nuestro caso el valor obtenido fue $\bar{x} = 58.93\%$ por lo cual fue apropiado para el buen desarrollo de la planta. Con respecto a la luminosidad es importante mencionar que el área de cultivo está rodeada por mucha vegetación y árboles por lo que las variaciones en las unidades lux de los puntos muestreados indicaron que su determinación puede convertirse en una herramienta muy útil en el manejo de las plantas cultivadas para lograr un aumento en

la cantidad o en la calidad del producto cosechado. El crecimiento y el desarrollo de un vegetal están influenciados, entre otros factores, por la intensidad y la calidad de la luz captada por los órganos que realizan la fotosíntesis. Cuando se generan cambios en la calidad o en la intensidad de la radiación incidente, se producen modificaciones en la planta que afectan su anatomía y fisiología, así como su crecimiento y desarrollo, fuertemente influenciados por la calidad de la luz en términos del color o la longitud de onda que llega a la superficie de las hojas (Blanco-Valdés, 2019).

CONCLUSIONES

El cultivo de *Melissa officinalis* presentó limitación en su crecimiento y desarrollo debido principalmente a las condiciones arcillosas del suelo de siembra, aun cuando durante el trasplante se realizó la fertilización del suelo, no fue posible revertir parámetros como el contenido de humedad, contenido de materia orgánica y la densidad real. También es evidente que el cultivo requiere mayores cantidades hidrológicas que las brindadas por las lluvias de temporada, especialmente durante el mes de abril y mayo donde

se presentaron altas temperaturas y sequía que coincidió con la aparición de alteraciones en el color y estructura de las hojas. A pesar de las condiciones desfavorables, el cultivo de *Melissa officinalis* presentó adaptabilidad a las condiciones climáticas y de suelo de la zona del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, sin embargo, podría considerarse de baja calidad para su uso en la extracción de aceites esenciales. Se sugiere para investigaciones futuras, evaluar alternativas de fertilización con materia orgánica y determinar experimentalmente su efectividad en el desarrollo de la planta mediante la evaluación de parámetros de crecimiento como: altura, diámetro y número de hojas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, D., Navarro, M., & Montero, P. (2013). Composición Química del Aceite Esencial de las Hojas de Toronjil (*Melissa officinalis* L.). *CIT Información tecnológica*, 24(4), 11–12. doi:10.4067/s0718-07642013000400006
- AGEXPORT. (s/f). *Guía de cultivo de Melissa, Melissa officinalis L.* Recuperado el 3 de septiembre de 2022, de <https://www.export.com.gt/documentos/guia-de-cultivos/guia-de-cultivo-de-melissa.pdf>
- Alconada Magliano, M. M. (2017). Interpretación de perfiles edáficos como parte de un paisaje a fin de definir manejos sustentables. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35474/mod_resource/content/1/GUIA%20DE%20INTERPRETACION%20DE%20PERFILES.pdf
- Beltrán, M.J.L. (2018). Propiedades físicas de los suelos, un recurso natural prestador de servicios biológicos y ambientales. Artículo en Revisión. *Biological Research*. Recuperado el 5 de septiembre de 2022, de: <https://www.researchgate.net/publication/323906391>
- Benton Jones, J. (2002). *Agronomic handbook: Management of crops, soils and their*

- fertility* (1st Edition).
doi:10.1201/9781420041507
<https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacion?regulacionId=22947>
- Blanco-Valdés, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses-cultivo. *Cultivos tropicales*, 40(4), 09.
doi:10.1234/ct.v40i4.1533
- Darwich N. (2006). *Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes*. Ed. Fertilizar Asoc. Civil. Mar del Plata, Argentina. 289 p.
- Esquivel-F, A., & Vargas-Aguilar, P. (2007). Uso de aceites esenciales extraídos por medio de fluidos supercríticos para la elaboración de alimentos funcionales. *Revista Tecnología en Marcha*, 20(4). Recuperado el 4 de septiembre de 2022, de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/450
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México. Recuperado el 2 de septiembre, de
- Power, J. F., & Prasad, R. (1997). *Soil fertility management for sustainable agriculture*.
doi:10.1201/9781439821985
- Stashenko, E. E., Jaramillo, B. E., & Martínez, J. R. (2003). Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante in vitro de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia verbenaceae. Recuperado el 2 de septiembre de 2022, de https://www.accefyn.com/revista/Vol_27/10/5/8-COMPARACION.pdf
- Schulte, E. E., & Hopkins, B. G. (2015). Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. En *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation* (pp. 21–31). Madison, WI, USA: Soil Science Society of America.