



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**FACULTAD DE CIENCIAS
BIOLOGÍA EXPERIMENTAL**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE METABOLITOS
SECUNDARIOS DE *Calendula officinalis* BAJO SISTEMA DE MURO VERDE Y SUELO**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

AURA MARIEL BECERRIL PARRA

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DOCTORA HELIA REYNA OSUNA FERNÁNDEZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DOCTOR RICARDO REYES CHILPA
INSTITUTO DE QUÍMICA, UNAM
DOCTORA EVA AGUIRRE HERNÁNDEZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

CD. UNIVERSITARIA, CD. MX.

NOVIEMBRE, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**FACULTAD DE CIENCIAS
BIOLOGÍA EXPERIMENTAL**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE METABOLITOS
SECUNDARIOS DE *Calendula officinalis* BAJO SISTEMA DE MURO VERDE Y SUELO**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

AURA MARIEL BECERRIL PARRA

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DOCTORA HELIA REYNA OSUNA FERNÁNDEZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DOCTOR RICARDO REYES CHILPA
INSTITUTO DE QUÍMICA, UNAM
DOCTORA EVA AGUIRRE HERNÁNDEZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

CD. UNIVERSITARIA, CD. MX.

NOVIEMBRE, 2023

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
OFICIO FCIE/DAIP/332/2023
ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **16 de enero de 2023** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Biología Experimental** de la estudiante **BECERRIL PARRA AURA MARIEL** con número de cuenta **301038818** con la tesis titulada **“Estudio comparativo del desarrollo y producción de metabolitos secundarios de *Calendula officinalis* bajo sistema de muro verde y suelo”**, realizada bajo la dirección de la **DRA. HELIA REYNA OSUNA FERNÁNDEZ**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: **DRA. PATRICIA GUEVARA FEFER**
Vocal: **DRA. SILVIA LAURA GUZMÁN GUTIÉRREZ**
Vocal: **M. EN C. MARÍA ESTHER SÁNCHEZ CORONADO**
Vocal: **DR. SOL CRISTIANS NIIZAWA**
Secretario: **DR. RICARDO REYES CHILPA**

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 23 de agosto de 2023

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA

c. c. p. Expediente del alumno

AGNS/AAC/GEMF/EARR/ipp



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Quiero agradecer profundamente a:

Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

CONAHCYT por el apoyo económico recibido, con el número de beca (CVU):
919855

A mi tutora principal:

la Doctora Helia Reyna Osuna Fernández

A los miembros de mi comité tutor:

La Doctora Eva Aguirre y el Doctor Ricardo Reyes Chilpa.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A la M. en C. Laura Patricia Olguín Santos. Técnico Académico Titular A. Invernadero de la Facultad de Ciencias, UNAM.

A la M. en C. M. en C. María Eugenia Muñiz Díaz de León. T.A. de Docencia en el Edificio de Ciencias Experimentales Tlahuizcalpan de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Al M. en C. José Manuel Hernández Solís Técnico Académico del Laboratorio de análisis ambiental de la Facultad de Ciencias de la UNAM, por su apoyo en el análisis del suelo.

Agradezco a mi familia y a todos quienes me han acompañado durante esta jornada. Les mando mi amor.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todos a quienes amo. Gracias.

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

I. RESUMEN	1
II. ABSTRACT	2
III. INTRODUCCIÓN	3
IV. MARCO TEORICO	5
1. Plantas medicinales	5
2. La utilidad de las plantas medicinales y la medicina tradicional	5
3. Metabolitos secundarios	7
4. Cultivo de plantas medicinales	11
5. Una técnica de cultivo: Hidroponía	13
6. Ventajas del cultivo hidropónico y del cultivo en suelo.	14
7. Situación del cultivo hidropónico en México	16
8. Una planta medicinal: Calendula officinalis L.	17
V. JUSTIFICACIÓN	30
VI. OBJETIVO GENERAL	31
VII. HIPÓTESIS	32
VIII. MATERIALES Y MÉTODOS	33
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
X. CONCLUSIONES	58
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO 1	71

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Ventajas del cultivo en suelo y del cultivo hidropónico.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de *Calendula officinalis*

Tabla 3. Sinonimia popular de *Calendula officinalis*

Tabla 4. Propiedades farmacológicas de *C. officinalis*

Tabla 5. Composición de la mezcla nutritiva hidropónica

Tabla 6. Análisis edafológico del sustrato de la parcela

Figura 1. Clasificación de los polifenoles.

Figura 2. Estructura del Isopreno

Figura 3. *Calendula officinalis*

Figura 4. Triterpenos glicosilados de *C. officinalis*

Figura 5. Alcoholes triterpénicos del tipo ψ -taraxastano de *C. officinalis*

Figura 6. Alcoholes triterpénicos del tipo del taraxasterol *C. officinalis*

Figura 7. Alcoholes triterpénicos tipo lupina de *C. officinalis*

Figura 8. Alcoholes triterpénicos tipo ursanos de *C. officinalis*

Figura 9. Alcoholes triterpénicos tipo oleananos *C. officinalis*

Figura 10. Flavonoides de *C. officinalis*

Figura 11. Estructura del Estigmasterol

Figura 12. Técnica hidropónica NFT

Figura 13. Primera parte de la construcción del muro verde hidropónico

Figura 14. Segunda parte de la construcción del muro verde hidropónico

Figura 15. MVH terminado

Figura 16. Siembra de las plantas en los sistemas de cultivo.

Figura 17. Preparación del sustrato de la parcela

Figura 18. Puntos de toma de muestras de suelo en la parcela.

Figura 19. Cultivo en Suelo

Figura 20. Comparación de la producción de capítulos en el MVH y en el CS

Figura 21. Altura de *C. officinalis* en MVH y en CS.

Figura 22. Biomasa total final de *C. officinalis*.

Figura 23. Longitud de la raíz primaria de *C. officinalis* en MVH y en CS.

Figura 24. Biomasa de la raíz de *C. officinalis* en MVH y en CS

I. RESUMEN

Calendula officinalis es una planta medicinal que tiene diversos metabolitos secundarios, estos le confieren diversas propiedades tales como capacidad cicatrizante, antioxidante, antiinflamatoria etc. Comparamos durante seis meses el desarrollo de *C. officinalis* y la producción de metabolitos secundarios en un muro verde hidropónico (MVH) y en un cultivo en suelo (CS). Plantas de *C. officinalis* se desarrollaron en un muro verde con solución nutritiva completa y otro lote se desarrolló en suelo preparado (tierra negra, hoja seca, agrolita y tezontle). Se evaluó la floración, altura final de las plantas, biomasa total, biomasa de la raíz y longitud de la raíz. Además, se realizaron extracciones sucesivas de las flores secas de *C. officinalis* con hexano, acetato de etilo y metanol. Se colectaron muestras una vez por mes de los capítulos en antesis a las 13 hr y se dejaron secar a temperatura ambiente. Se calcularon los rendimientos de las extracciones y se buscó la presencia: β -amirina, lupeol, estigmasterol, quercetina y rutina con cromatografía en capa fina. Se esperó un mejor desarrollo en el cultivo hidropónico, pues estudios muestran que es una técnica que reduce el tiempo de crecimiento de las plantas al proporcionarles todos los nutrientes requeridos de forma continua. Las plantas del cultivo en suelo deben desarrollar mejores competencias ecológicas, lo cual podría favorecer la producción de metabolitos secundarios y evidenciar la presencia de β -amirina, lupeol, estigmasterol, quercetina y rutina. Los resultados mostraron un mejor desarrollo (floración, biomasa total, biomasa de la raíz y altura) en el MVH en los seis meses evaluados. La mayor producción de capítulos se obtuvo en enero y febrero, con una humedad y temperatura promedio de 55% y 14 °C respectivamente. En el CS se obtuvieron mayores rendimientos con hexano (septiembre, octubre y noviembre) y con metanol (noviembre y diciembre). En el MVH se obtuvieron mayores rendimientos con hexano en febrero; con acetato de etilo en noviembre, diciembre y febrero. Los perfiles cromatográficos de los dos sistemas revelaron la presencia de β -amirina, lupeol, estigmasterol, quercetina y rutina. Los rendimientos de los extractos variaron de acuerdo al sistema de cultivo y al mes de cosecha. En conclusión, el desarrollo de *C. officinalis* en el MVH es una opción viable para su cultivo.

II. ABSTRACT

Calendula officinalis is a medicinal herb that has various secondary metabolites, these confer it several properties such as healing, antioxidant, anti-inflammatory, etc. We compared the development and secondary metabolites production of *C. officinalis* in a hydroponic green wall (MVH) and in a soil culture (CS) for six months. Plants were developed in a green wall with complete nutrient solution and another batch was developed in prepared soil (black soil, dry leafs, agrolita and tezontle). Flowering, final height of the plants, total biomass, root biomass and root length were evaluated. In addition, successive extractions of the dried flowers with hexane, ethyl acetate and methanol were carried out; for which samples (inflorescences) were collected once a month from in anthesis at 1:00 p.m. and were allowed to dry at room temperature. The yields of the extractions were calculated and the presence of the secondary metabolites: β -amyrin, lupeol, stigmasterol, quercetin and rutin was sought with thin layer chromatography. A better development in hydroponic cultivation was expected, since studies show that it is a technique that reduces the growth time of plants by providing them with all the nutrients required continuously, therefore it was also inferred that plants grown in soil should develop better ecological skills, which could favor the production of secondary metabolites and evidence the presence of β -amyrin, lupeol, stigmasterol, quercetin and rutin. The results showed a better development (flowering, total biomass, root biomass and height) in the MVH during the six months. The highest production of inflorescences was obtained in January and February, which registered average humidity and temperatures of 55% and 14 °C respectively. In the CS, greater yields with hexane will be acquired in September, October and November; and with methanol in November and December. In the MVH, greater yields were acquired with hexane in February; with ethyl acetate in November, December and February. Chromatographic profiles of the two systems revealed the presence of β -amyrin, lupeol, stigmasterol, quercetin, and rutin. The yields of the extracts varied according to the culture system and the harvest month. In conclusion, the development of *C. officinalis* in the MVH is a viable option for its cultivation.

III. INTRODUCCIÓN

El uso de las plantas medicinales ha acompañado al hombre a lo largo de la historia. En la actualidad, existe una tendencia creciente por la adquisición de estas, debido al crecimiento de la población que genera cada vez más demanda como también, al aumento de la popularidad de los productos naturales y de los productos respetuosos con el medio ambiente (Schippmann et al., 2007; Yehya & Naguib, 2011). El cultivo de plantas medicinales es una alternativa para satisfacer dicha demanda y producción. Cultivar nos ofrece ventajas tales como una regularidad en el suministro, un control de genotipos preferibles y una identificación botánica confiable (Posadzki et al., 2013).

Calendula officinalis, mercadela, maravilla, o solo caléndula, es un planta medicinal que se cultiva y se comercializa en México y en el mundo, en gran parte por sus cualidades ornamentales; tradicionalmente ha sido usada para atender diversos padecimientos. Son principalmente sus capítulos los que se preparan por decocción para tratar la cicatrización, úlceras estomacales, dolores de garganta, dolor de muelas, oftalmias, tos, calmar los nervios etc. (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

En México, las prácticas de cultivo son llevadas principalmente en suelo (Raymond, 2017); sin embargo, el cultivo en agua ó hidropónico está comenzando a tomar importancia, ya que ofrece grandes ventajas sobre el cultivo en suelo, pues permite ahorrar agua, ocupa un menor espacio y permite el aprovechamiento de cualquier área (azoteas, jardines, suelos infértiles, terrenos escabrosos, etc.) posibilitando el cultivo dentro de las ciudades, y además, algo muy importante, es que los ciclos de producción son acelerados y las cosechas tienden a ser mayores que en campo abierto (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

En este trabajo realizamos un estudio comparativo durante seis meses del cultivo de *C. officinalis* en suelo, con un sustrato preparado (tierra negra, hoja seca, agrolita y tezontle), e hidropónico, con una solución nutritiva completa. Evaluamos el desarrollo cuantificando la producción de capítulos, la altura final de las plantas, la

biomasa total, la biomasa de la raíz y la longitud de la raíz. Por otro lado, debido a que las propiedades terapéuticas de las plantas son debidas a determinadas moléculas conocidas como metabolitos secundarios (Taiz y Zeiger, 2006), se buscó con cromatografía en capa fina la presencia de los metabolitos β -amirina, lupeol, estigmasterol, rutina y quercetina, los cuales se han reportado previamente en la planta y son de importancia en el campo de la terapéutica (Muley et al., 2009; Ukiya et al., 2006; Wilkomirski & Kasprzyk, 1979).

IV. MARCO TEORICO

1. Plantas medicinales

Una planta medicinal (PM) es cualquier planta que en uno o en más de sus órganos contiene sustancias que pueden usarse con fines terapéuticos, o que son precursores para la síntesis de fármacos útiles (Sofowora et al., 2013).

Las PM son la fuente más rica de sustancias con actividad terapéutica en la medicina tradicional, en la medicina moderna, en los nutracéuticos, en los suplementos alimenticios y en las drogas sintéticas como intermediarios químicos (Kuefe, 2017).

En vista de que en la antigüedad no había suficiente información sobre las razones de las enfermedades, o sobre qué planta y cómo podría utilizarse como cura, todo se basó en la experiencia. Con el tiempo se descubrieron los motivos del uso de las PM para el tratamiento de ciertas enfermedades; así, el empleo de estas, abandonó gradualmente el marco empírico y se fundamentó en hechos explicativos (Petrovska, 2012).

2. La utilidad de las plantas medicinales y la medicina tradicional

La OMS define a la medicina tradicional como "la suma total de conocimientos, habilidades y prácticas basadas en las teorías, creencias y experiencias indígenas de diferentes culturas que se utilizan para mantener, prevenir y mejorar la salud y también tratar enfermedades físicas y mentales" (World Health Organization, 2013). El principal tipo de medicina tradicional comúnmente practicada por los curanderos es la herbaria, la que es a base de plantas medicinales (Giannenas et al., 2020).

La medicina tradicional ha demostrado su eficacia en áreas como la salud mental, la prevención de enfermedades, el tratamiento de enfermedades no transmisibles y la mejora de la calidad de vida de las personas que viven con enfermedades crónicas. Aunque se necesitan más investigaciones, ensayos clínicos y

evaluaciones, la medicina tradicional ha demostrado un gran potencial para satisfacer un amplio espectro de necesidades de atención médica (World Health Organization. Programme on Traditional Medicine, 2001).

La Organización mundial de la salud (OMS) ha informado que el 80% de la población humana usa medicamentos tradicionales, principalmente plantas para curar diversas dolencias. La OMS alienta y apoya a los miembros de estados a integrar a la “medicina tradicional, complementaria y alternativa” en los sistemas nacionales de atención de la salud y asegurar su uso racional (World Health Organization. Programme on Traditional Medicine, 2001).

Un estudio en Oaxaca, en la sierra Mazateca, demostró que a nivel individual, primero se recurre a la medicina herbaria tradicional cuando surgen molestias médicas simples. Sin embargo, el conocimiento y el uso de la medicina herbaria y los productos farmacéuticos coexisten. Además, no se encontró evidencia de competencia entre estos dos sistemas de conocimiento y práctica (Giovannini et al., 2011).

Las PM constituyen una de las fuentes potenciales de nuevos productos y compuestos bioactivos para el desarrollo de fármacos (Cragg & Newman, 2013). Además, los usos medicinales tradicionales contribuyen significativamente a dicho desarrollo de fármacos. La utilidad de las PM en la medicina se enuncia a continuación (Akerlele, 1993).

- Las PM pueden usarse como agentes terapéuticos directos.
- Sirven como materia prima para la fabricación de compuestos semisintéticos más complejos.
- Las estructuras químicas derivadas de sustancias vegetales pueden utilizarse como modelos para nuevos productos sintéticos.
- Las plantas pueden utilizarse como marcadores taxonómicos en la búsqueda de nuevos compuestos.

Se ha informado que más del 50% de los medicamentos disponibles provienen de plantas (Jamshidi-Kia et al., 2018). En la actualidad la industria farmacéutica se ha centrado en el descubrimiento de nuevas drogas de tecnología sintética, sin embargo los productos basados en la naturaleza siguen siendo una fuente de nuevos compuestos (Schmidt et al., 2008).

3. Metabolitos secundarios

Hoy se sabe que las propiedades terapéuticas de las PM son debidas a la presencia de determinadas moléculas conocidas como metabolitos secundarios (MS) (Taiz & Zeiger, 2006).

Los MS desempeñan funciones ecofisiológicas que le permiten a la planta sobrevivir al medio ambiente; tales como aportar un sistema de defensa contra factores bióticos y abióticos, e intervenir en la formación de relaciones mutualistas con otros seres vivos. Por lo tanto, la habilidad de una planta para competir y sobrevivir está profundamente afectada por las funciones ecológicas de sus metabolitos secundarios (Taiz & Zeiger, 2006).

Los diversos MS varían entre las especies, y algunos se encuentran de manera restringida a una especie en particular (Barton & Koricheva, 2010).

Alrededor de 100,000 MS están presentes en el reino vegetal, confinados a grupos taxonómicos específicos (Fang et al., 2011). Existen tres grupos principales de MS en las plantas, estos son: los compuestos nitrogenados, los compuestos fenólicos y los terpenos.

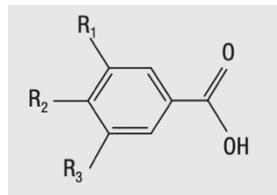
3.1.1 Compuestos Nitrogenados

Los compuestos nitrogenados se agrupan en cuatro categorías que son: los alcaloides, los glucosinolatos, los glucósidos cianogénicos y los aminoácidos no proteicos. Se ha reportado que muchos de estos compuestos le confieren a la planta

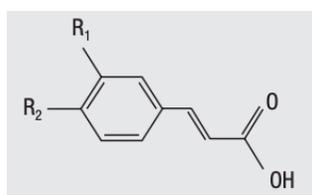
una variedad de mecanismos de defensa. Algunos mecanismos se activan después del ataque del patógeno y conducen a la formación de una amplia gama de fitoquímicos y subproductos que ayudan a la planta a hacer frente a las condiciones adversas (Singh, 2018).

3.1.2 Compuestos Fenólicos

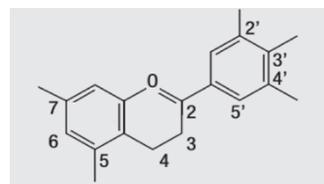
Los compuestos fenólicos o polifenoles poseen en su estructura al menos un anillo bencénico unido a uno o más hidroxilos. Son MS ampliamente distribuidos en las plantas y su presencia en el reino animal se debe a la ingestión de éstos (Gimeno, 2004). Se dividen en varias clases según el número de anillos fenólicos que contienen, y de elementos estructurales que unen estos anillos entre sí. Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos, flavonoides, alcoholes fenólicos, estilbenos y lignanos (Figura 1).



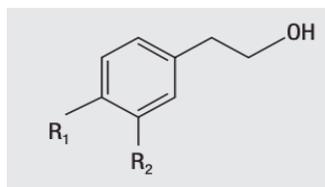
Ácidos fenólicos derivados del ácido hidroxibenzoico



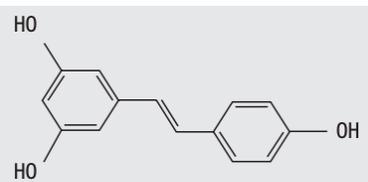
Ácidos fenólicos derivados del ácido hidroxicinámico



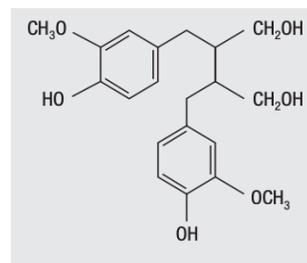
Flavonoides



Alcoholes fenólicos



Estilbenos como el resveratrol



Lignanos como el secoisolarisinsol

Figura 1. Clasificación de los polifenoles (Manach et al., 2004).

En las plantas estos compuestos influyen en procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento y el desarrollo, tales como la germinación de semillas, la división celular y la síntesis de pigmentos fotosintéticos (Tanase et al., 2019). Además confieren una mayor tolerancia a diversas condiciones de estrés, tales como la presencia de metales pesados, pesticidas, salinidad, sequía, temperaturas extremas y radiación UV (Naikoo et al., 2019).

3.1.3 Terpenos

Los terpenos tienen una característica unificadora simple por la que se definen y se clasifican, esta describe que todos los terpenos tienen unidades fundamentales repetidas de isopreno de cinco carbonos (Figura 2), (Croteau, 1998), aunque biosintéticamente derivan del pirofosfato de isopentilo. Se han clasificado por el número de unidades de cinco carbonos “C” que contienen, los hemiterpenos contienen 5 C, los monoterpenos 10 C, los sesquiterpenos 15 C, los diterpenos 20 C, los triterpenos 30 C y los carotenoides 40 C (Wagner & Elmadfa, 2003).

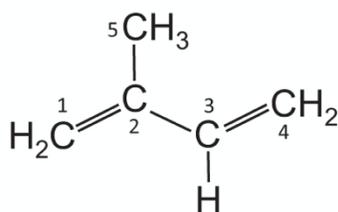


Figura 2. Estructura del Isopreno (Hillier & Lathe, 2019).

Son los metabolitos secundarios que dan el aroma a las plantas, pues constituyen la mayor parte del aceite esencial. Ejercen distintas funciones, una de ellas es la defensa contra los enemigos biológicos, ya sea directamente al producir toxinas y repelentes contra los herbívoros ó, indirectamente a través de la atracción de los depredadores de dichos herbívoros (Kessler & Heil, 2011). También ejercen protección cuando las temperaturas son elevadas (Loreto & Schnitzler, 2010); e incluso pueden actuar como reclamo, atrayendo insectos benéficos para la planta como polinizadores (Boncan et al., 2020).

3.2 Factores que modifican la producción de MS

Entre los factores responsables de las fluctuaciones de los MS se encuentran las condiciones del medio ambiente. Las plantas interactúan con el medio para su supervivencia y por lo tanto, están influenciadas por factores bióticos y abióticos que regulan la biosíntesis de los MS (Verma & Shukla, 2015).

Algunos factores medioambientales que modifican la producción de MS se enuncian a continuación:

Región: PM de la misma especie recolectadas en campo o cultivadas presentan variabilidad en la concentración de sus MS cuando se ubican en distintas zonas. Esto es debido a las necesidades fisiológicas de la planta con respecto a las distintas condiciones ecológicas de cada región, como por ejemplo la latitud, altitud, temperatura promedio y condiciones climáticas de la región (Badoni et al, 2009; Radušienė et al., 2012; Ullah et al., 2012).

Estacionalidad: El contenido de MS en las plantas puede variar conforme a las estaciones del año, esto puede deberse a varios factores como la disponibilidad de agua, la temperatura y la radiación, así como el comportamiento de los polinizadores y otras especies. Un ejemplo es en la adormidera (*P. somniferum*), que es una fuente rica de más de 80 alcaloides entre los que se encuentra la morfina, codeína, tebaína, narcotina y papaverina, los cuales se producen mejor en la estación seca (Hofman & Menary, 1980; Wallaart et al., 2000).

Nutrición: Algunos autores informan que las deficiencias de nutrientes en general tienden a dar como resultado un aumento en las concentraciones de MS debido a que el crecimiento de la planta es a menudo inhibido, y el carbono fijado se asigna predominantemente a la formación de MS (Ibrahim et al., 2017; Ulrychová & Sosnová, 1970; Seigler, 1994). Sin embargo, hay experimentos que no muestran esa correlación y parece depender más de cada especie de planta. Castillo-Arellano y colaboradores (2018) mostraron que en un cultivo controlado con escasez de Ca^{2+} and K^+ , se redujo la supervivencia y la producción de ácido apético y calanólidos de *Calophyllum brasiliense*. Por otro lado, Almeida-Cortez y colaboradores (1999) trabajaron con 31 herbáceas de la familia Asteraceae, y demostraron que al menos para estas especies no hay correlación entre un ambiente de escasez nutricional y la formación de MS.

Temperatura: Es un factor físico muy importante que afecta fuertemente la ontogenia y la tasa de desarrollo de las plantas. La temperatura elevada provoca estrés por calor y la temperatura baja provoca estrés por frío (Loreto & Schnitzler, 2010). Se ha señalado que el aumento de temperatura aumenta fuertemente la emisión de varios terpenos. Los terpenos estabilizan la membrana tilacoidal del cloroplasto y tienen una fuerte actividad antioxidante (Loreto & Schnitzler, 2010). Sin embargo, las investigaciones son contrastantes y muestran para cada especie una respuesta. Por ejemplo, en *Matricaria chamomilla* los efectos de la temperatura del aire en la obtención de aceite de camazuleno, mostraron mejores rendimientos a una temperatura de 15 ° C versus temperaturas de 20 y 25° C (Saleh, 1970).

4. Cultivo de plantas medicinales

Las plantas medicinales se han obtenido tradicionalmente de la naturaleza, sin embargo en la actualidad, “el cultivo” podría ser también una alternativa para la adquisición de estas. Esto surge principalmente para asistir a los siguientes motivos:

1. Existe una gran demanda y una tendencia creciente por la adquisición de las plantas medicinales (Schippmann et al., 2007).

2. Los países en desarrollo dependen cada vez más de las plantas medicinales como fuente de atención primaria de salud. Una estimación de la Organización Mundial de la Salud (en el 2001), mostró que más del 80% de la población mundial depende única o con frecuencia en gran medida de los remedios tradicionales para el cuidado de la salud. Además, esta tendencia a la alza es prevista no sólo por la explosión demográfica, sino también por el aumento de la popularidad de los productos naturales y de los productos respetuosos con el medio ambiente (Schippmann et al., 2007).
3. La destrucción de ecosistemas a un ritmo acelerado en los últimos tiempos (Schippmann et al., 2007; Yehya & Naguib, 2011).

Cultivar especies de PM nos da varias ventajas, entre las que se encuentran (Posadzki et al., 2013).

1. La identificación botánica confiable.
2. La regularidad en el suministro de cantidades.
3. El control de genotipos preferibles.
4. El control de los problemas de calidad y seguridad que pueden surgir de las plantas silvestres.

Ya que las propiedades medicinales de las plantas son debidas principalmente a la presencia de los metabolitos secundarios (MS), en las plantas cultivadas dichos metabolitos pueden ser deliberadamente mejorados bajo condiciones controladas de temperatura, humedad, radiación etc. (Akerle et al., 1991; Posadzki et al., 2013).

5. Una técnica de cultivo: Hidroponía

La hidroponía se puede definir como un sistema de cultivo y producción, en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua, y en el que en vez de suelo, se utiliza un sustrato de material inerte o simplemente la misma solución nutritiva (F. S. Castillo et al., 1983).

En 1938 Gericke usó por primera vez la palabra hidroponía en su artículo: "Crop production without soil". En dicho artículo se reporta el primer trabajo científico de cultivo en agua. La palabra se formó de las raíces griegas hydro: ύδρο agua, y pónos: πόνος labor o trabajo, lo que literalmente sería "trabajo en agua" (Gericke, 1938).

Sin embargo, el cultivo en agua es una técnica que ya se ha usado en la antigüedad. El registro más antiguo data de 600 a.C. en los jardines colgantes de Babilonia, en los cuales se describe que recibían el riego por canales de agua que emergían desde lo alto. Los chinos vienen practicándolo también desde hace miles de años en sus terrazas con arrozales. Y también, en el Valle de México, en Xochimilco los indígenas de la zona lo han usado en forma de jardines flotantes o "chinampas" para la siembra de hortalizas (Seves, 2018).

7.1. Técnica hidropónica: Nutrient Film Technique (NFT)

El sistema NFT (Nutrient Film Technique) o Técnica de película de nutrientes, es bastante popular entre los productores, debido a la simpleza en su diseño (Figura 12). Consiste en recircular la solución nutritiva sobre una línea o líneas de canales en forma de cascada, donde las raíces de las plantas entran en contacto con el agua y pueden absorber los nutrientes de ella. La solución de nutrientes se encuentra en un contenedor y es bombeada para poder correr por el canal o los canales. La leve inclinación de los canales permite que la solución nutritiva regrese al contenedor. La solución nutritiva humedece las raíces de cada una de las plantas con una capa delgada de solución (película) (Castillo et al., 1983).

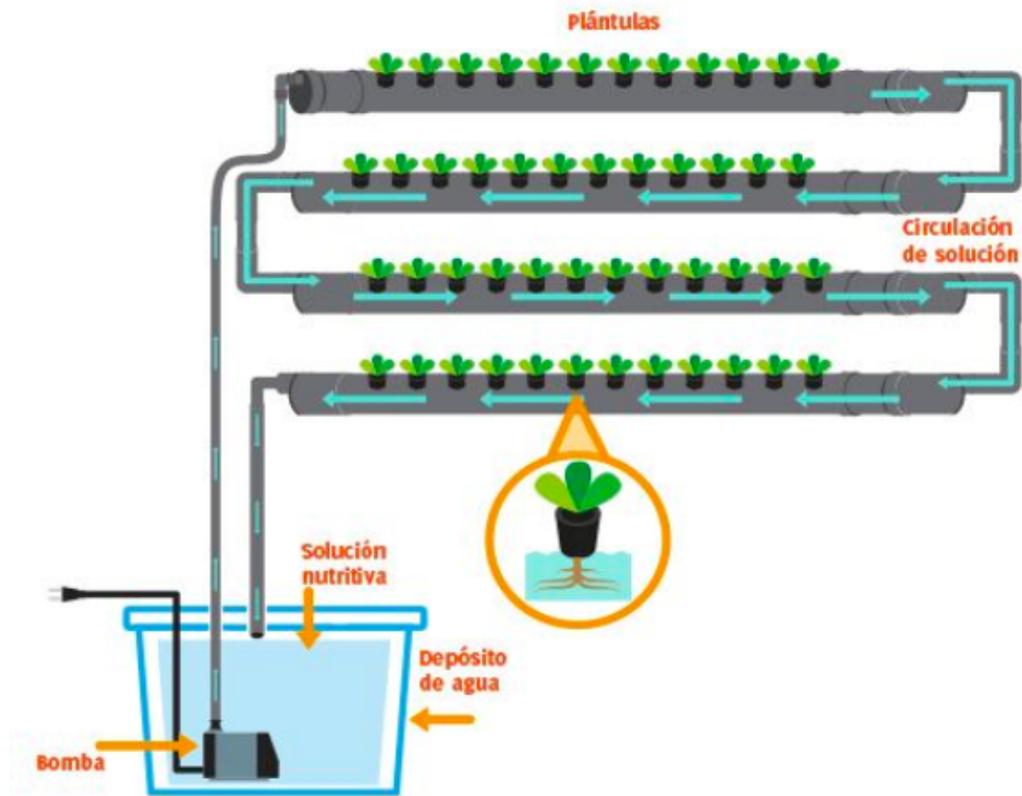


Figura 12. Técnica hidropónica NFT (*Cultivos Hidropónicos “Que son, técnicas aplicables, ventajas y desafíos” , s/f*)

6. Ventajas del cultivo hidropónico y del cultivo en suelo.

Algunas de las ventajas más sobresalientes del uso de la hidroponía y del cultivo en suelo se resaltan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Ventajas del cultivo en suelo y del hidropónico (Castillo et al., 1983; Pratesi, 2022).

Ventajas	
Cultivo hidropónico	Cultivo en suelo
Ahorro de agua	Se pueden sembrar en general cualquier planta
Permite cultivar en interiores (balcones, terrazas, patios, etc.)	No se requiere de formación o instrucción técnica considerable.
Requiere menor espacio	No requiere de inversión inicial
El período de cultivo es más corto que en la agricultura tradicional, puesto que las raíces se encuentran en contacto directo con los nutrientes, logrando un crecimiento extraordinario de tallos, hojas y frutos	-----
Requiere menor mano de obra, pues no es necesario trabajar la tierra (remover el suelo, efectuar trasplantes, limpiar los cultivos, etc.)	-----
No existe el problema de la erosión del suelo	-----
Al colocarse dentro de un vivero puede controlarse la temperatura, intensidad de la luz y la humedad.	-----

7. Situación del cultivo hidropónico en México

Es una técnica que actualmente se practica, aunque la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC) indicó en un informe del año 2016, que de la agricultura protegida, solo el 19% corresponde a cultivos hidropónicos (Raymond, 2017), sin embargo, comienza a tener auge por los múltiples beneficios que ofrece. La secretaría de agricultura y desarrollo rural la promueve como una nueva tecnología sustentable incorporada a la producción de alimentos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). El Senado de la República realizó una reforma al artículo 3° de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, en la que se busca favorecer y regular la práctica y el desarrollo de la hidroponía, como alternativa para combatir la pobreza y evitar el daño ambiental, pues reporta que la actividad agrícola en suelo, consume casi 70% del agua dulce disponible para el consumo humano (El cultivo hidropónico, alternativa para combatir la pobreza y evitar el daño ambiental, 2019). La secretaría de agricultura y desarrollo rural declara que en México, el campo por explorar en la hidroponía es vasto.

8. Una planta medicinal: *Calendula officinalis* L.

8.1 Taxonomía

Calendula officinalis pertenece a la familia Asteraceae. Existen aproximadamente 25 especies y la especie *officinalis* es la más común. Su clasificación taxonómica se encuentra en la Tabla 2 (Arora et al., 2013).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de *C. officinalis*

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Order	Asterales
Familia	Asteraceae
Tribu	Calenduleae
Género	Calendula
Especie	<i>Calendula officinalis</i>

8.2 Nombre y sinonimias

El nombre de caléndula deriva del latín *kalendæ*, que para el antiguo calendario romano era el primer día de cada mes, comenzando con la luna nueva; fue asociado con esta planta debido a que se podía observar en floración a principios de mes, lo cual alude a su amplio periodo de floración (Acosta de la Luz et al., 2001). Por otra parte, la “caléndula” también ha sido llamada la “hierba del sol”, porque sus flores abren por la mañana y cierran en la noche. El nombre de “*officinalis*” denota especies con usos en la medicina y en la herbolaria (Acosta de la Luz et al., 2001; Stearn, 2004). Es una especie que posee una gran variedad de nombres populares (Tabla 3).

Tabla 3. Sinonimia popular de *C. officinalis* (Sarennet, s/f).

Idioma	Nombres
Castellano	Alta reyna, Caléndula, Copetuda, Flamenquilla, Flor de muerto, Maravilla, Mercadela.
Alemán	Ringelblume, Gold bloom, Goldblume.
Francés	Souci des jardins, Fleurs de tous les mois.
Inglés	Calendula, Feminell, Garden Marigold, Goldbloom, Holligold, Pot-Marigold.
Portugués	Calêndula, Maravilhas.
Italiano	Cappuccina dei campi, Erba di San Giuseppe, Fior d’ogni.

8.3 Descripción botánica de *Calendula officinalis*

Es una planta herbácea aromática y perenne (Figura 3), aunque comúnmente se describe cómo anual debido a que en regiones muy frías es susceptible al invierno, y en lugares cálidos también muere al llegar el verano (Ashwlayan et al., 2018). Llega a medir entre 20 y 60 cm de alto. Tiene tallos pubescentes a menudo ramificados desde la base. Las hojas son oblongo-lanceoladas, alternas y pubescentes. En los extremos de los tallos se encuentran los capítulos florales cuyo diámetro oscila entre los 3 y 6 cm y están formados por flores liguladas marginales y tubulares en el centro de que van del color amarillo al naranja (Acosta de la Luz et al., 2001). Las semillas son polimórficas. Su fruto es un aquenio. El aquenio es curvado en forma de media luna, algunos autores lo llaman 'nugget' (Joly et al., 2013).

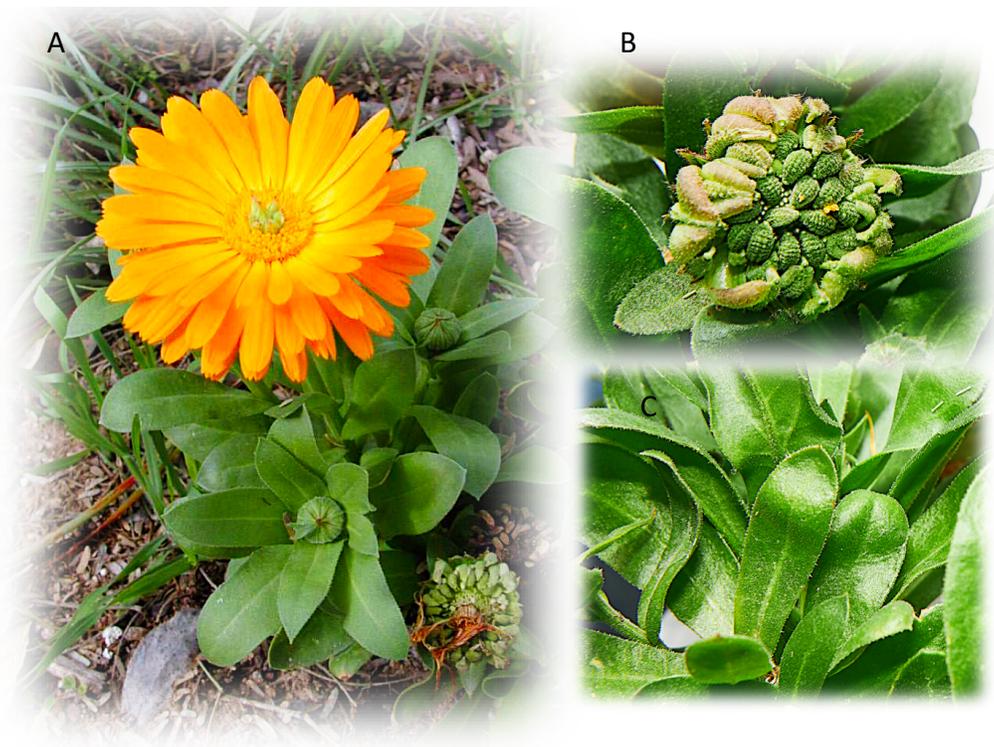


Figura 3. *Calendula officinalis*. A: capítulo y hojas (Arora et al., 2013), B: cabezuela de semillas polimórficas, y C: hojas oblongo-lanceoladas pubescentes.

8.4 Origen y distribución de *Calendula officinalis*.

Es nativa de Europa central, oriental y meridional, aunque cabe destacar que hay algunos autores que la consideran originaria de Egipto, y después introducida a Europa, y al resto del mundo (Arora et al., 2013; World Health Organization (WHO), 1999). *Caléndula officinalis* se ha cultivado durante siglos en jardines ornamentales, donde crece fácilmente en suelos pobres. Fue cultivada por los egipcios, griegos, hindúes y árabes (Arora et al., 2013).

En México, *Calendula officinalis* puede encontrarse bajo cultivo en gran parte del territorio y puede adquirirse fácilmente en los mercados, sin embargo, carece de información oficial acerca de dónde y cuánta planta se cultiva, ya que los censos agropecuarios del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) no la incluyen.

8.5 Historia de *Calendula officinalis* en México y usos tradicionales

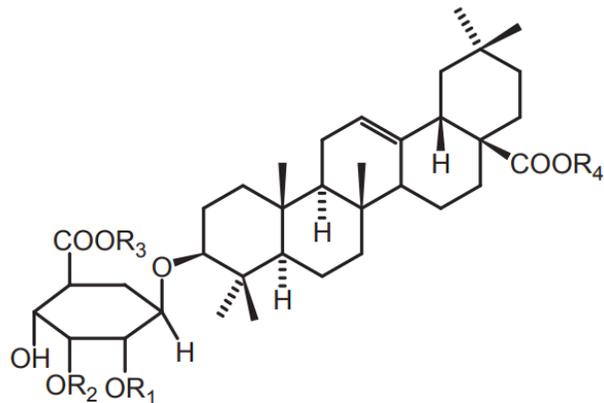
La primera referencia que hay sobre esta planta en México es en el libro "*Plantae Novae hispaniae*" de Sessé y Mociño, que menciona que toda la planta es amarga y un poco narcótica, expelente, sudorífica, emenagoga. Además, que es usada para mejorar oftalmías, vértigos y fiebres exantemáticas (Sessé et al., 1887). Posteriormente se le menciona en el año de 1888, en la publicación de Eleuterio González en "*Un discurso y un catálogo de plantas clasificadas*", donde se indica que la planta es estimulante y antiespasmódica, que es usada en amenorreas, ictericia, infección de los ganglios linfáticos, vómitos crónicos, cáncer ulcerado, hipertrofias de matriz e inflamación de ojos (González, 1888). En el siglo XX, Maximino Martínez la describe en su libro de "*Plantas medicinales de México*" como: planta herbácea extranjera, cultivada como ornamental por sus cabezuelas color rojizo azafranado. Se usa por decocción para gárgaras. Contra dolores de estómago, causados por úlcera o para el cáncer. Calmante y emenagoga (Martínez, 1944).

En la Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana se expone que el uso medicinal más frecuente es para las anginas, nombre popular que se da a la amigdalitis. Para su tratamiento, generalmente se utiliza la flor hervida en agua para hacer gárgaras tres veces al día. Del mismo modo se usa contra la infección y dolor de garganta también, se indica para la bilis, la calentura, paperas, tos, tos ferina, curar mollera, contusiones, garganta reseca, torceduras, dolor de estómago, dolor de espalda, dolor de muelas o pies. Además, se le considera desinfectante y desinflamante de heridas (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

8.6 Metabolitos secundarios reportados en *Calendula officinalis*

Se han identificado algunos triterpenos glicosilados (Figura 4) como calendulaglicósido A-F, calendulaglicósido A 6'-O-metil ester, calendulaglicósido A 6'-O-n-butyl ester, calendulaglicósido B 6'-O-n-butyl ester, calendulaglicósido C 6'-O-metil ester, calendulaglicósido C 6'-O-n-butyl ester, calendulaglicósido D₂, 6'-O-butyl ester, calendulaglicósido G 6'-O-metil ester (Yoshikawa et al., 2001). También alcoholes triterpénicos libres y esterificados, estigmasterol, monoles, dioles y trioles del tipo de ψ -taraxastano como ψ -taraxasterol, faradiol, heliantriol B, heliantriol C (Figura 5); del tipo de taraxasterol, como arnidiol, heliantriol B1 (Figura 6); del tipo lupina, como lupeol, calenduladiol, heliantriol B2 (Figura 7); tipo ursanos (Figura 8), como α -amirina, breina, ursadiol, ursatriol (Arora et al., 2013); tipo oleananos (Figura 9), que incluyen a β -amirina, maniladiol, eritrodiol, longispinogenina, heliantriol A1 (Muley et al., 2009; Wilkomirski & Kasprzyk, 1979).

Los flavonoides (Figura 10) que se han encontrado son la quercetina, isorhamnetina, kaempferol, rutina, hiperósido, isoquercitrina, astragalina, quercetina 3-O-glucósido, quercetina 3-O-rutinósido, quercetina 3-O-neohesperidosido, quercetina 3-O-2G-ramno-silrutinosido, isorhamnetina 3-O-glucosido, isorhamnetina 3-O-rutinosido, isorhamnetina 3-O-neohesperidosido, isorhamnetina 3-O-2G-rhamnosilrutinosido (Ukiya et al., 2006).



Triterpenos glicosilados				
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
Calendulaglicósido A	Glc	Gal	H	Glc
Calendulaglicósido A 6-O-metilester	Glc	Gal	CH ₃	Glc
Calendulaglicósido A 6-O-butilester	Glc	Gal	n-Bu	Glc
Calendulaglicósido B	Glc	Gal	H	H
Calendulaglicósido B 6-O-butilester	Glc	Gal	n-Bu	H
Calendulaglicósido C	H	Gal	H	Glc
Calendulaglicósido C 6-O-metilester	H	Gal	CH ₃	Glc
Calendulaglicósido C 6-O-butilester	H	Gal	n-Bu	Glc
Calendulaglicósido D	H	Gal	H	H
Calendulaglicósido D ₂	H	H	H	Glc
Calendulaglicósido F	H	H	H	H
Calendulaglicósido F 6-O-butilester	H	H	n-Bu	H
Calendulaglicósido G 6-O-metilester	H	Gal	CH ₃	H

Figura 4. Triterpenos glicosilados de *C. Officinalis* (Yoshikawa et al., 2001).

Alcoholes triterpénicos	R ₁	R ₂	R ₃
ψ-taraxasterol	H	CH ₃	H
Faradiol	OH	CH ₃	H
Heliantrol B ₀	OH	CH ₂ OH	H
Heliantrol C	OH	CH ₃ OH	OH

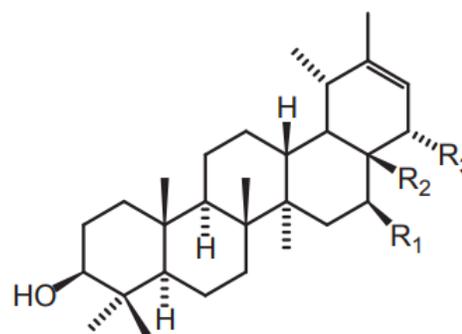


Figura 5. Alcoholes triterpénicos del tipo ψ-taraxastano de *C. officinalis* (Muley et al., 2009)

Alcoholes triterpénicos	R ₁	R ₂
Taraxasterol	H	CH ₃
Arnidiol	OH	CH ₃
Heliantrol B ₁	OH	CH ₂

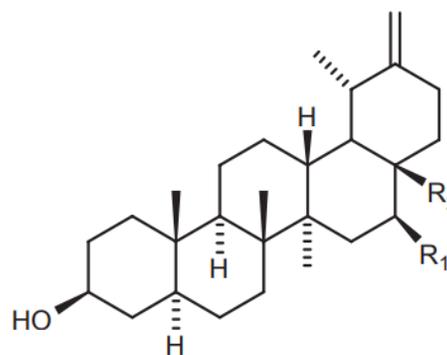


Figura 6. Alcoholes triterpénicos del tipo del taraxasterol *C. officinalis* (Muley et al., 2009)

Alcoholes triterpénicos	R ₁
Lupeol	H
Calenduladiol	CH ₃
Heliantrol B ₂	CH ₂ OH

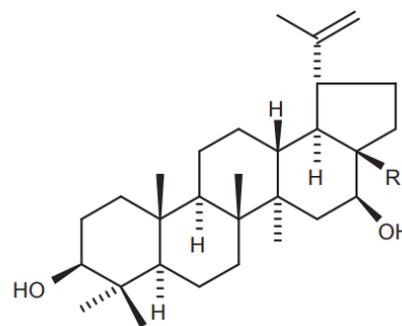
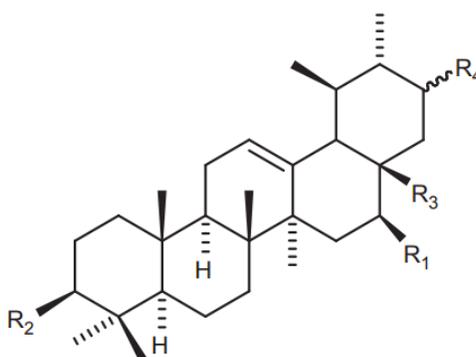


Figura 7. Alcoholes triterpénicos tipo lupina de *C. officinalis* (Muley et al., 2009).



Alcoholes triterpénicos	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
α-amirina	H	OH	CH	H
Breina	H	OH	CH	H
Ursadiol	H	OH	CH	OH
Ursatriol	OH	OH	CH ₂ OH	H

Figura 8. Alcoholes triterpénicos tipo ursanos de *C. officinalis* (Muley et al., 2009)

Alcoholes triterpénicos	R ₁	R ₂
β-amirina	H	CH ₃
Maniladiol	OH	CH ₃
Eritrodiol	H	CH ₂ OH
Longispinogenina	OH	CH ₂ OH

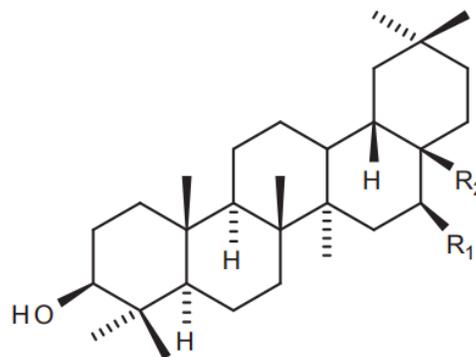


Figura 9. Alcoholes triterpénicos tipo oleananos *C. officinalis* (Muley et al., 2009)

Flavonoides	R ₁	R ₂
Quercetina	OH	
Isorhamnetina	OCH ₃	H
Kaempferol	H	H
Rutina	OH	H
Hiperósido	OH	Glc
Isoquercitrin	HO	Gal
Astragalin	H	Glc
		Glc

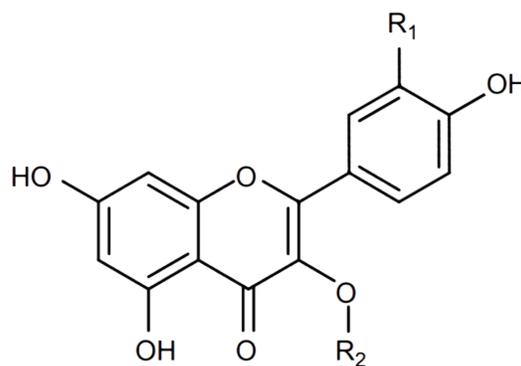


Figura 10. Flavonoides de *C. officinalis* (Ukiya et al., 2006).

Las inflorescencias de *C. officinalis* tienen una cantidad abundante de carotenoides que dan a las flores su color amarillo-naranja, y el tono del color depende del contenido de pigmento y el perfil de pigmento. Se ha encontrado luteína, zeaxantina, flavoxantina, auroxantina, β -caroteno, luteoxantina, violaxantina, β -criptoxantina, mutaxantina (Bakó et al., 2002). Por otro lado, los aceites volátiles de las inflorescencias de *C. officinalis* contienen un mínimo de en la etapa de pre-floración y un máximo en la etapa de floración completa. Se han reportado α -cadinol, T-cadinol; α -cadineno, limoneno, 1,8-cineol (Arora et al., 2013). Entre las quinonas reportadas está el α -tocoferol y la filoquinona (Janiszowska et al., 1976). De las hidroxycoumarinas están la scopoletina, umbelliferona, esculetina (Arora et al., 2013). Finalmente, se han reportado ácidos fenólicos como el ácido clorogénico, cafeico, cumárico y vanílico (Cetkovic et al., 2003).

8.7 Importancia terapéutica de algunos MS de *C. officinalis*

La quercetina (Figura 10) es un flavonoide ampliamente estudiado debido a sus propiedades farmacológicas, tales como antioxidantes, antivirales, antimicrobianas, antiinflamatorias, hepatoprotectoras, anticancerígenas, cardiovasculares y neurológicas (Maalik et al., 2014).

Otro flavonoide de gran interés es la rutina (Figura 10), es un glucósido de flavonol. Está compuesto por quercetina (el flavonol) y el disacárido rutinosa, también es conocido como quercetina-3-rutinósido. La rutina tiene importantes propiedades farmacológicas, entre ellas la eliminación de especies oxidantes además de propiedades antialérgicas, antiinflamatorias, vasoactivas, antitumorales, antibacterianas, antivirales, antiprotozoarias, anticancerígenas y antidiabéticas (Sharma et al., 2013).

El lupeol (Figura 7) es un triterpeno de gran relevancia médica, pues presenta diversas actividades farmacológicas en condiciones in vitro e in vivo. Estos incluyen su actividad beneficiosa contra la inflamación, el cáncer, la artritis, la diabetes, las enfermedades cardíacas, la toxicidad renal y la toxicidad hepática (Saleem, 2009).

La β -amirina (Figura 9) es un triterpeno que ha mostrado propiedades terapéuticas tales como anticonvulsivas, ansiolíticas, antidepresivas, antiinflamatorias, analgésicas y hepatoprotectoras (Aragao et al., 2008; Melo et al., 2011; Oliveira et al., 2005; Oliveira et al., 2004)

El estigmasterol (Figura 11) es un fitosterol insaturado. En la actualidad, se utiliza en varios procesos químicos diseñados para producir numerosos compuestos sintéticos y semisintéticos para la industria farmacéutica. Es un precursor en la biosíntesis de andrógenos, estrógenos, corticoides y vitamina D. Ha sido investigado por su perspectivas farmacológicas tales como antiosteoartrítico, antihipercolesterolémico, citotóxico, antitumoral, hipoglucemiante, antimutagénico, antioxidante, antiinflamatorio y por su actividad sobre sistema nervioso central (Kaur et al., 2011).

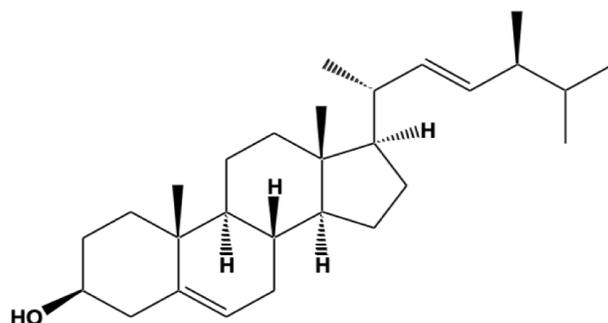


Figura 11. Estructura del Estigmasterol (Kaur et al., 2011).

8.8 Actividades farmacológicas de *Calendula officinalis*

Algunos estudios han mostrado que es una PM que posee diversas propiedades farmacológicas, entre ellas destacan las siguientes:

Tabla 4. Propiedades farmacológicas de *C. officinalis*

Actividad farmacológica	Referencia(s)
Efecto antidiabético y antihiperlipidémico	Chakraborty, 2010 Ebrahimi et al., 2019
Efecto cardioprotector	Ray et al., 2010
Antioxidante	Preethi et al., 2006 Frankic et al., 2009
Cicatrizante y antiinflamatoria	Parente et al., 2012 Ukiya et al., 2006
Antihelmíntica	Purwal et al., 2010
Antiviral	Kalvatchev et al., 1997
Hepatoprotector	Manal et al., 2010
Antimicrobiana	Hamad et al., 2017 <i>Sakharkar, et al., 2010</i> Efstratiou et al., 2012

8.9 Propagación y cultivo de *C. officinalis*

La multiplicación de *Calendula officinalis* es por semillas, las que se diferencian en 2 clases: las exteriores arqueadas con espinitas en el dorso, y las interiores más pequeñas casi cerradas en círculo. El peso promedio de 1 000 semillas oscila entre 10 a 15 g. Las semillas almacenadas por períodos de 2 años pierden totalmente su poder germinativo (Acosta et al., 2001).

La siembra puede realizarse manualmente cuando se trata de pequeñas áreas o mecánicamente cuando se deben cubrir grandes extensiones; cubriendo las semillas en los surcos con una capa ligera de tierra (2 a 3 cm); el espaciamiento recomendable entre plantas de una misma hilera es de 35 cm (Acosta et al., 2001). Las fechas de siembra recomendadas son desde finales de otoño hasta, incluso, principios de primavera. La floración ocurre aproximadamente a los 70 días de realizada la siembra directa, y después se mantiene durante todo el año (Angulo, 2013; Moore et al., 2005).

8.10 Fitopatología

En los primeros estadios del cultivo la planta puede ser atacada por 2 coleópteros de la familia crisomélidos: *Systema basalis* Duval y *Diabrotica balteata*, y durante la fase de floración por el pulgón rojo *Aphis* sp y por el hemípero *Bemisia tabaci*. También puede ser afectada por los hongos *Puccinia flaveriae*, *Ascochyta* sp y *Cercospora calendulae*, este último produce manchas circulares en las hojas causando defoliación (Acosta et al., 2001).

V. JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad de un sistema continuo y uniforme de suministro de plantas medicinales, cultivar y propagar es una estrategia importante para satisfacer el crecimiento y la demanda (Schippmann et al., 2007). La hidroponía es una técnica de cultivo que merece ser estudiada debido a los amplios beneficios que ofrece, tales como facilitar la conservación de los suelos, pues las plantas se cultivan en disoluciones minerales dentro de un diseño de estructuras que favorecen las condiciones idóneas para producirlas, por lo mismo, permite el aprovechamiento de cualquier área (azoteas, jardines, suelos infértiles, terrenos escabrosos, etc.) posibilitando el cultivo dentro de las ciudades; los ciclos de producción son acelerados y las cosechas tienden a ser mayores que en campo abierto (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural promueve esta técnica como una opción de desarrollo sustentable. *Calendula officinalis* es una planta medicinal que se cultiva en suelo y se comercializa en los mercados, en gran parte por sus cualidades ornamentales, sin embargo, no se ha explorado su potencial desarrollo en sistema hidropónico. Por lo tanto, en este trabajo comparamos el desarrollo de *Calendula officinalis* en un cultivo en suelo y en un muro verde hidropónico. Además, buscamos la producción de los metabolitos secundarios β -amirina, lupeol, estigmasterol, quercetina y rutina, los cuales se han reportado en la planta y son de amplio interés en el campo de la terapéutica.

VI. OBJETIVO GENERAL

Comparar el crecimiento y la producción de MS en las inflorescencias de *Calendula officinalis* cultivada en suelo (CS) y en muro verde hidropónico (MVH).

Objetivos particulares:

- Establecer las condiciones propicias para el cultivo *Calendula officinalis* en el MVH y en CS.
- Realizar un análisis edafológico de la parcela del sistema de CS, previo al cultivo de *Calendula officinalis*.
- Comparar la producción de capítulos por seis meses, así como la biomasa total, la biomasa de la raíz, y la longitud en las plantas y de la raíz de *C. officinalis* al final del experimento en el MVH y del CS.
- Obtener los extractos orgánicos de los capítulos de *C. officinalis* de ambos sistemas de cultivo cada mes durante seis meses y calcular los rendimientos.
- Evidenciar con cromatografía en capa fina la presencia o ausencia de metabolitos de naturaleza terpénica (lupeol, β -amirina y estigmasterol) y fenólica (quercetina y rutina) de las inflorescencias de *C. officinalis*.

VII. HIPÓTESIS

El desarrollo de las plantas de *C. officinalis* se verá beneficiado en el MVH, pues antecedentes o reportes previos de cultivos hidropónicos afirman que es una técnica que reduce el tiempo de crecimiento de las plantas y mejora el desarrollo de éstas, al proporcionarles todos los nutrientes necesarios de forma continua. En vista de que también en el CS pueden formarse complejas asociaciones con la microbiota del suelo, se infiere que en este último las plantas deben desarrollar mejores competencias ecológicas y por lo tanto, la producción de MS podría verse favorecida.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Ubicación

El cultivo de *C. officinalis* se realizó de septiembre 2019 a febrero del 2020; en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en la Ciudad de México, México. Coordenadas: 19°19'27.9"N 99°10'44.7"O. A una altitud de 2250 m.

2. Adquisición de plantas

Se compraron 80 plantas adultas (entre 3-4 meses de edad aproximadamente) en el mercado de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad de México, México. 19°16'00.3"N 99°02'07.4"O

3. Elaboración del sistema hidropónico

Con tablas de madera de pino se construyó un bastidor de 2m x 2m. Se colocó sobre una reja vertical. Se perforaron cinco tubos PVC de 2 m de largo y 10 cm de diámetro lateralmente, formando 8 circunferencias de 10 cm de diámetro. Cada uno de los cinco tubos se colocó sobre el bastidor con una inclinación aproximada de 1.7° y con pendientes opuestas entre ellos. Se sujetaron con alambre recocido. Se instalaron 4 tubos pequeños de PVC verticales de 40 cm de largo y 5cm de diámetro conectando los tubos inclinados (Figura 13).

Se añadió un contenedor con capacidad de 100 L al sistema. El contenedor se cubrió con tela impermeable a la luz. Sobre el contenedor se adaptó una bomba sumergible. Se conectó una manguera desde el contenedor hacia el tubo PVC más elevado. Otra manguera se conectó desde el tubo PVC de la zona inferior al contenedor (Figura 14).

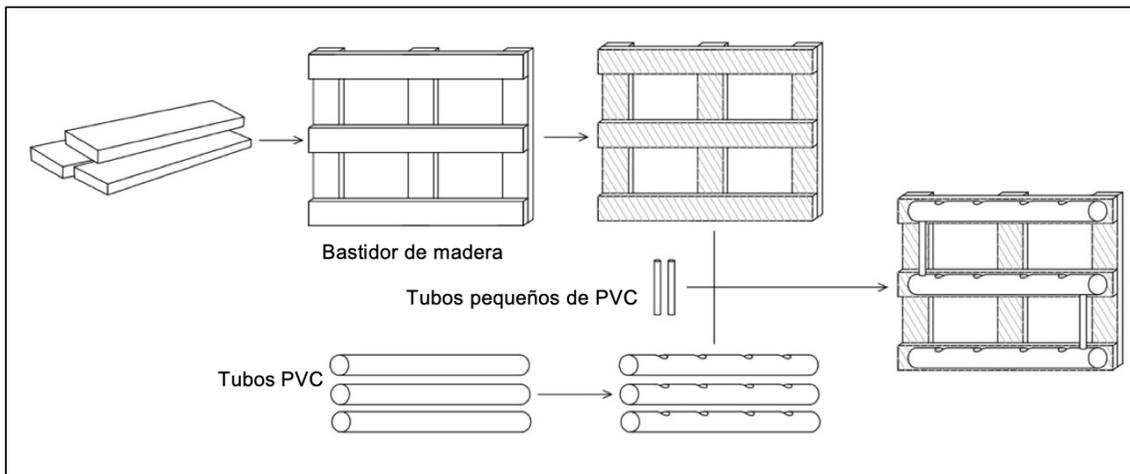


Figura 13. Primera parte de la construcción del muro verde hidropónico

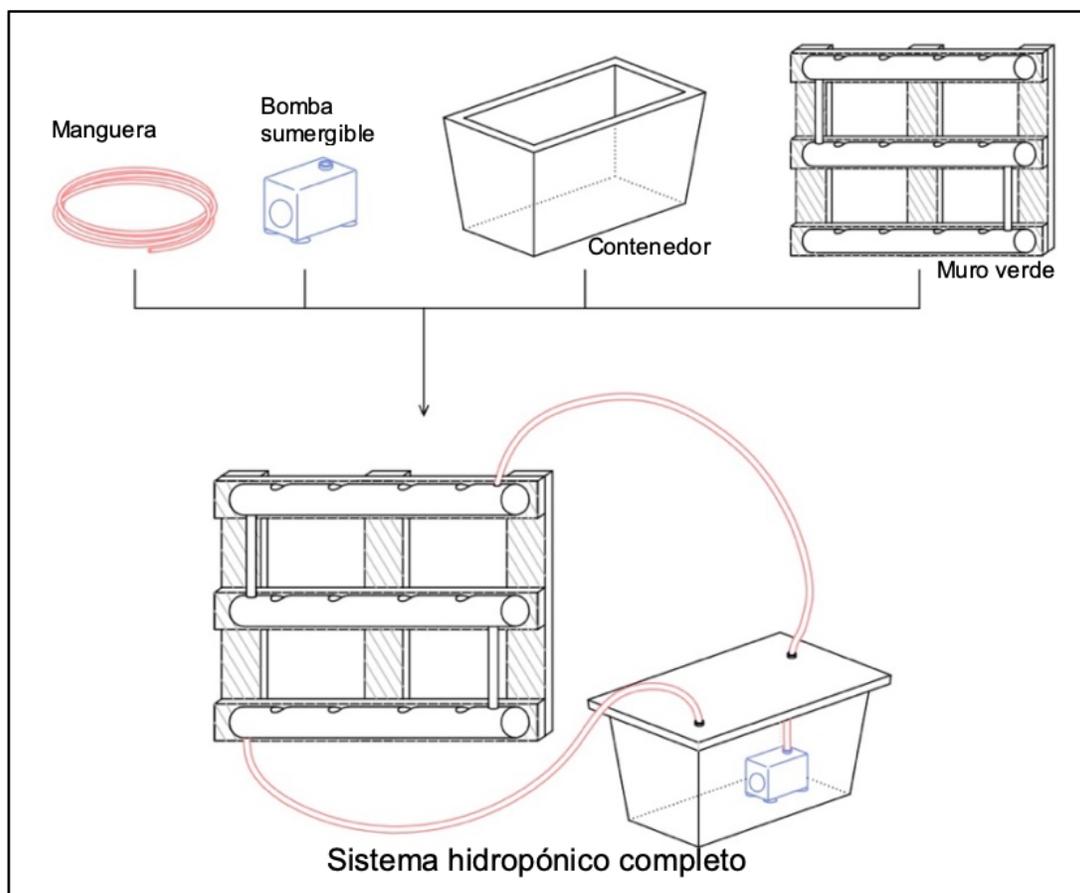


Figura 14. Segunda parte de la construcción del muro verde hidropónico

3.1. Siembra en el sistema hidropónico y construcción del muro verde hidropónico (MVH)

Inicialmente se colocaron 40 plantas en el MVH, de las cuales sobrevivieron 30. Cada planta se colocó en una maceta de 10 cm de diámetro y 7 cm de profundidad y se rellenoó con agrolita y corteza de coco (sustratos inertes). Se colocó una tira de tela absorbente de la marca Great Value 1 cm x 15 cm en la raíz que emergió por la parte inferior de la maceta y estuvo siempre en contacto con la solución hidropónica (Figura 16).

A continuación, la Figura 15 muestra la construcción final del MVH.



Figura 15. MVH terminado

3.2. Condiciones del MVH

La solución hidropónica se mantuvo a flujo continuo y se cambió cada 15 días. Se preparó una solución de acuerdo con las especificaciones del productor de la mezcla nutritiva. Se disolvieron 23 g de la mezcla en 10 L de agua corriente. El pH se mantuvo en 6.5 y la conductividad eléctrica en un rango de 1.9-2 mS/cm. La composición de dicha mezcla se muestra en la Tabla 5. Se realizó labor de prevención y control de plagas con insecticida de la marca Karate.

Se monitoreo la temperatura y la humedad del cultivo con un dispositivo Data Logger de Onset Hobo MX2301 (registros en ANEXO 1).

Tabla 5. Composición de la mezcla nutritiva hidropónica.

MgSO ₄ 21%
KNO ₃ 19%
KH ₂ PO ₄ 9.3%
Ca(NO ₃) ₂ 42%
Ácido cítrico 3.3%
EDDHA-Fe ⁽¹⁾ 0.4%
Micronutrientes 5% de la marca Peters-profesional ¹

¹El fabricante de los micronutrientes “Peters-profesional” reporta que su mezcla está conformada por Zn 4.5%, Mo 0.04%, Mn 8%, Fe 7.5%, Cu 2.3%, B 1.35 % y S 13%.

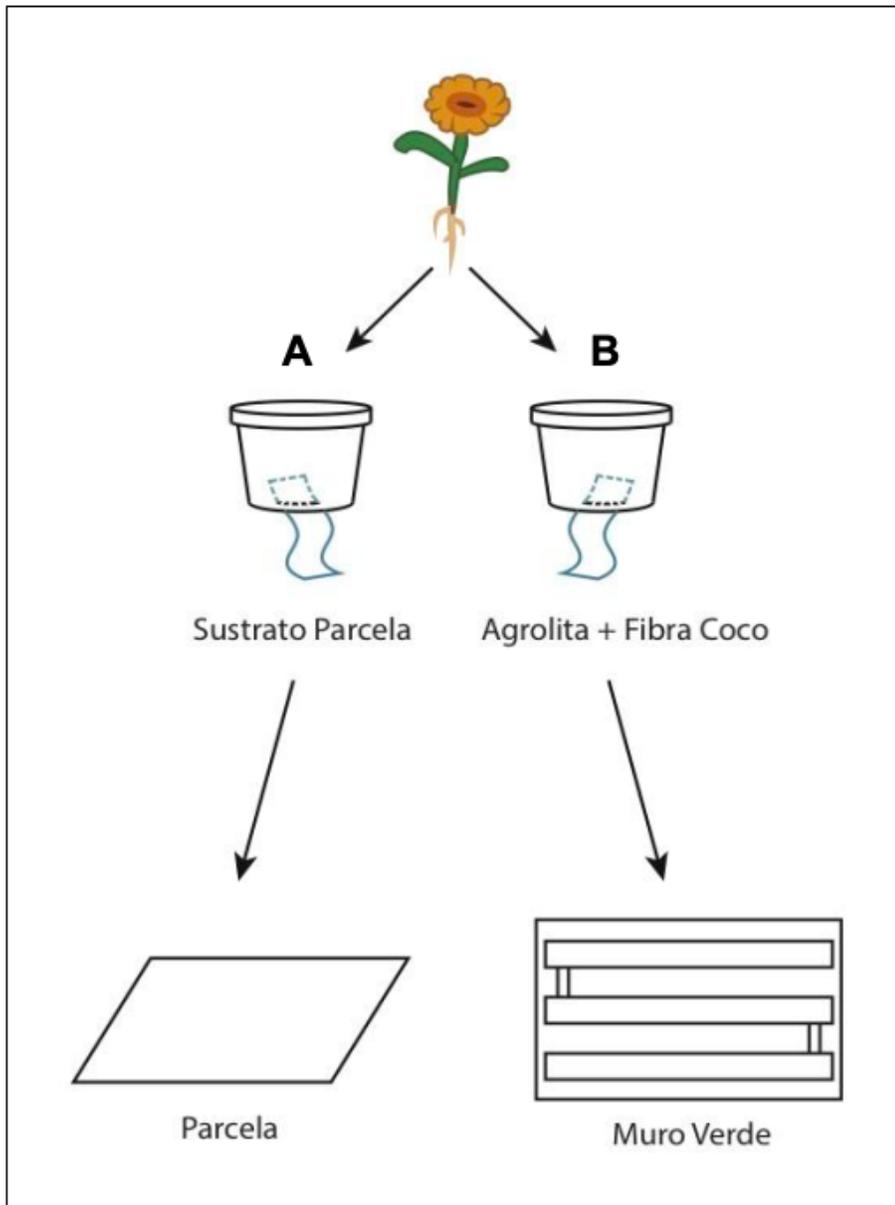


Figura 16. Siembra de las plantas en los sistemas de cultivo. **A:** Siembra en Suelo; **B:** Siembra en el MVH

4. Elaboración de la parcela:

En un recuadro de suelo 2m x 2m se preparó un sustrato a base de: tierra negra, agrolita, tierra de hoja y tezontle 1:1:1:1 (Figura 17). El suelo permaneció durante dos meses bajo condiciones naturales y después se tomaron muestras para el análisis edafológico.

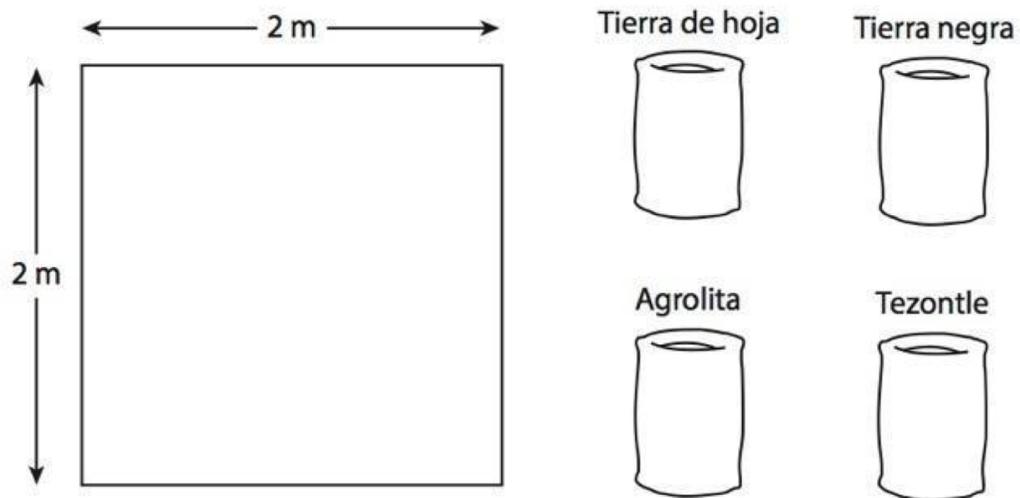


Figura 17. Preparación del sustrato de la parcela

4.1. Análisis edafológico

1. Toma de muestras

Cada muestra se recolectó como lo marca la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

Se marcaron 10 puntos para la colecta de muestras compuestas, que consiste en dos tomas de suelo a distintas profundidades, a 5 cm y a 10 cm respectivamente (Figura 18).

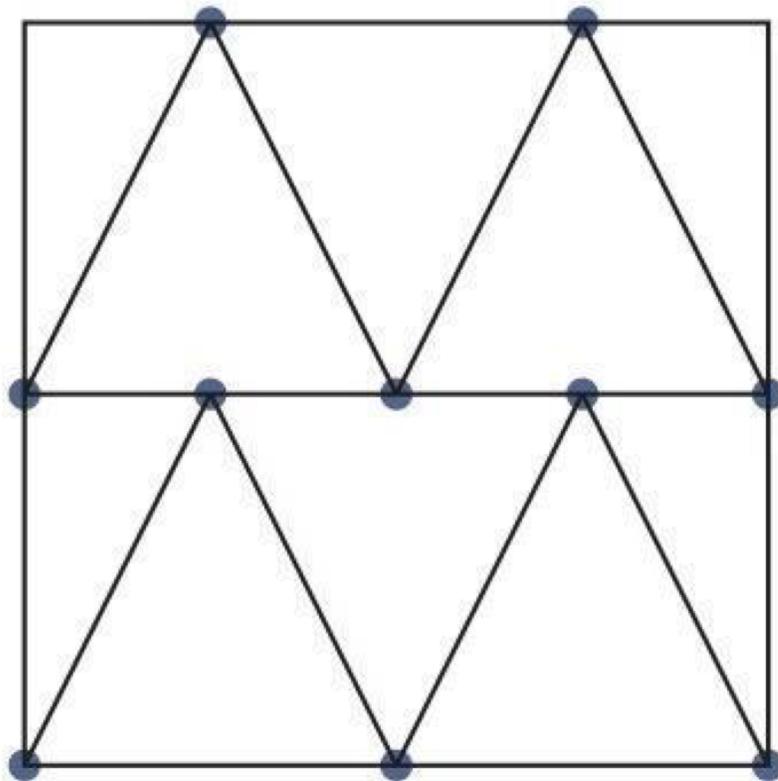


Figura 18. Puntos de toma de muestras de suelo en la parcela.

2. Determinaciones edafológicas

Se realizaron las siguientes determinaciones:

Determinación de pH. Se realizó mediante un método electrométrico con un pH-metro marca HANNA Instruments, hecho en Rumania.

Conductividad eléctrica. Se determinó con un conductímetro marca LaMotte hecho en USA.

Cationes Na^+ , K^+ . Primero se extrajeron con acetato de amonio 1N, pH=7 y después se determinaron por flamometría.

Cationes Mg^{++} , Ca^{++} . Se extrajeron con acetato de amonio 1N, pH=7 y se determinaron por absorción atómica.

Contenido de Fósforo. Se cuantificó por el método de Bray-Kurtz, usando ácido ascórbico como agente reductor (Bray & Kurtz, 1945).

Textura del suelo. Se determinó por análisis de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962).

Contenido de Nitratos. Se realizó el método de nitración del ácido salicílico (Vendrell & Zupancic, 1990).

4.2. Siembra en suelo (CS)

Se colocaron 40 plantas en suelo, de las cuales sobrevivieron 31 y solo se tomaron 30 para el experimento. Cada planta se colocó en una maceta de 10 cm de diámetro y 7 cm de profundidad y se relleno con sustrato de la parcela. Se colocó una tira de tela absorbente de 1 cm x 15 cm en la raíz que emergió por la parte inferior de la maceta (Figura 16). Finalmente se colocaron dentro de la parcela.

4.3. Condiciones del CS

Se regó diariamente a las 12 hr del día. Se deshierbaba cada que fuera necesario. Se realizó labor de prevención y control de plagas con insecticida de la marca Karate.

Se monitoreo la temperatura y la humedad del cultivo con un dispositivo Data Logger de Onset Hobo MX2301 (registros en ANEXO 1).

5. Desarrollo de las plantas

Semanalmente se realizó un conteo del número de capítulos producidos por cada planta del MVH y del CS (30 en cada sistema), y se obtuvo un valor promedio por mes.

Se midió la altura inicial (80 plantas) y final (30 en cada sistema) de la parte aérea de *C. officinalis* del MVH y del CS. Al final del experimento, se limpiaron cuidadosamente las raíces con agua y se determinó la longitud alcanzada (30 plantas de cada sistema). Posteriormente, las 60 plantas se colocaron en periodico y se dejaron secar para la determinación de biomasa total y, la de biomasa de la raíz.

6. Toma de muestras para el análisis fitoquímico.

Se formaron 3 grupos de 10 plantas en cada sistema de cultivo. Se tomaron todas las cabezuelas en antesis de cada grupo a las 13 hr una vez al mes. En total se realizaron 6 colectas. Las muestras de cada colecta se cubrieron con papel y se dejaron secar a temperatura ambiente. Una vez secas, se extrajo el cáliz y se determinó el peso de cada muestra.

7. Fitoquímica

Se realizó la técnica de maceración. Se hicieron extracciones sucesivas de una misma muestra con hexano, acetato de etilo y metanol respectivamente del material vegetal colectado. Cada muestra se dejó reposar 24 hrs en cada disolvente correspondiente. El exceso de disolvente se dejó evaporar a temperatura ambiente en una campana de extracción. Finalmente se calculó el rendimiento de los concentrados.

Por otro lado, se realizó la identificación de terpenos y flavonoides por cromatografía en capa fina. Para lo cual se usaron placas de sílica gel (Merk) de 10 x 10 cm con

0.1 mm de espesor. Los terpenoides se identificaron en los concentrados hexánicos y de acetato de etilo. Cada concentrado se disolvió en 1 ml de disolvente (hexano o acetato de etilo según la muestra correspondiente), y se realizaron 6 aplicaciones con un mismo capilar sobre la placa. Los estándares usados fueron: lupeol, estigmasterol y β -amirina de la marca Sigma –Aldrich. Las placas se colocaron en una cámara de cromatografía con una fase móvil de hexano-acetato de etilo (8:2 v/v). Para la revelación se usó el reactivo de anisaldehído (Wagner & Bladt, 1996)

Los flavonoides no glicosilados se identificaron en los concentrados de acetato de etilo. Cada concentrado se disolvió en 0.5 ml de acetato de etilo y se realizaron 12 aplicaciones con un mismo capilar. El estándar usado fue quercetina de la marca Sigma – Aldrich. Las placas se colocaron en una cámara de cromatografía con una fase móvil de cloroformo: acetona: ácido fórmico (8: 1: 1 v/v/v). Para el revelado se usó el reactivo de productos naturales (Wagner & Bladt, 1996) y fueron observadas en una cámara de luz ultravioleta a 365 nm.

Para la identificación de flavonoides glicosilados cada concentrado metanólico se disolvió en 1 ml de metanol y se realizaron 6 aplicaciones con un mismo capilar. El estándar usado fue rutina de la marca Sigma – Aldrich. Las placas se colocaron en una cámara de cromatografía con una fase móvil de acetato de etilo: acetona: ácido fórmico: ácido acético: agua (9: 1: 1: 1: 1 v/v/v/v/v). Para el revelado se usó el reactivo de productos naturales (Wagner & Bladt, 1996) y fueron observadas en una cámara de luz ultravioleta de 365 nm

8. Análisis estadístico

Se utilizó el programa de computadora Prism 6 de la empresa GraPhpad Software. Se realizaron t-Student para las comparaciones entre dos grupos. En el caso de varios grupos se hicieron análisis de varianza ANOVA de una vía, junto con una prueba de comparación múltiple Tukey.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Estudio edafológico.

Los resultados de las pruebas edafológicas se compararon para su interpretación con los parámetros de la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, estudios, muestreo, análisis y clasificación de suelos. Los resultados obtenidos de estas pruebas y su interpretación se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados del análisis edafológico del sustrato del CS.

Parámetro	Profundidad	Valor determinado	Interpretación
pH	De 0 a 5 cm	6.075	Adecuado
	De 5 a 10 cm	5.925	
Conductividad	De 0 a 5 cm	162.6 μ S	Adecuado
	De 5 a 10 cm	245 μ S	
Na ⁺	De 0 a 5 cm	460.1 mgNa/Kg	Adecuado
	De 5 a 10 cm	1237.2 mgNa/Kg	
K ⁺	De 0 a 5 cm	358.76 mgK/Kg	Adecuado
	De 5 a 10 cm	450.70 mgK/Kg	
P	De 0 a 5 cm	20.770 mg P/Kg	Adecuado
	De 5 a 10 cm	22.662 mg P/Kg	
	De 0 a 5 cm	574.5 mg Mg/Kg	Adecuado

Mg ⁺⁺	De 5 a 10 cm	417.0 mg Mg/Kg	
Ca ⁺⁺	De 0 a 5 cm	4050.4 mg Ca/Kg	Adecuado
	De 5 a 10 cm	2584.4 mgCa/Kg	
Textura	0-10 cm	Arcillas 36% Limos 30% Arenas 33%	Franco arcillosa
Nitratos	De 0 a 5 cm	16 mg/Kg	Adecuado
	De 5 a 10 cm	26 mg/kg	

El análisis edafológico del sustrato del CS nos muestra que el suelo contó con una composición cuantitativa óptima y textura ideal para la siembra. Mientras tanto, el sistema de MVH contó con una solución nutritiva completa para las plantas (Tabla 5).

En la actualidad se sabe que el cultivo en distintos tipos de sustratos modifica el desarrollo y en la producción de MS (Loreto & Schnitzler, 2010; Ullah et al., 2012; Wallaart et al., 2000). En un experimento con *C. officinalis*, se compararon distintos sustratos para cultivo en suelo, los resultados mostraron variaciones en el desarrollo. Los autores reportaron mayor altura, número de hojas y producción de capítulos en un sustrato con residuos de cultivo de maíz, versus un sustrato con estiércol o simplemente un suelo arcilloso (Hammad, 2014).

2. Comparación de la producción de capítulos

La medicina tradicional nos dice que para *C. officinalis*, los capítulos florales son los que se usan principalmente (Biblioteca de la medicina tradicional, 2009), y son también estos en los que recae el interés ornamental, pues las flores son las que

principalmente dotan de gran belleza a la planta. Debido a esto, es muy importante medir la producción de capítulos en los sistemas de cultivo.

En la Figura 20 se observa la comparación de la producción capítulos en las plantas. En los meses de septiembre a diciembre las plantas del MVH alcanzaron valores alrededor de 3.5 capítulos, por otro lado, en el CS la producción fue de 0.5 capítulos. En los meses de enero y febrero la producción se elevó, ya que las plantas del MVH produjeron en promedio 6 capítulos, mientras tanto, en el CS cada planta produjo en promedio 1 capítulo. En esta máxima producción de capítulos en los mese de enero y febrero, se registraron las temperaturas más bajas del experimento, con un promedio de 14°C, así como también, los niveles más bajos de humedad, 55% (ANEXO 1)

Comparacion de la producción de capítulos

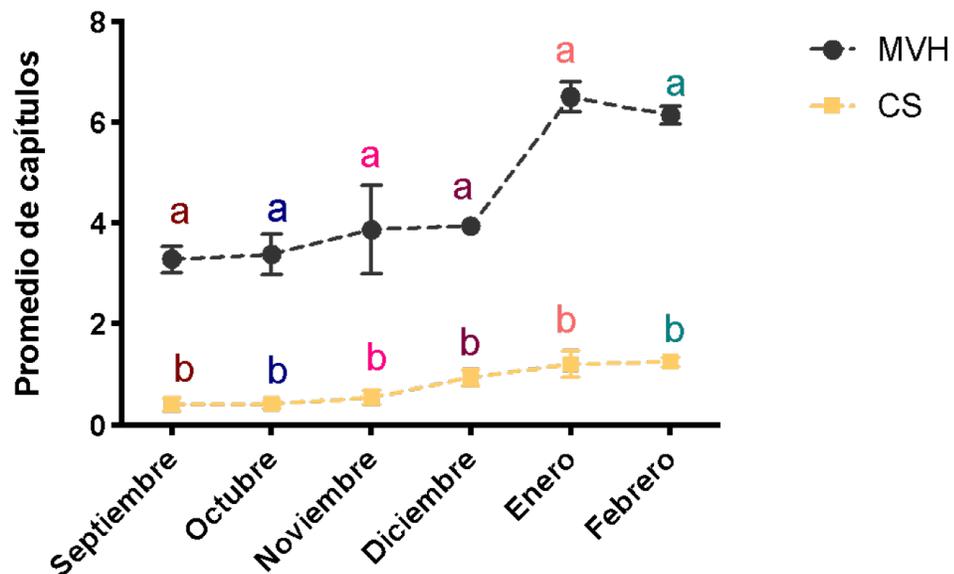


Figura 20. Comparación de la producción de capítulos en cada mes en el MVH y en el CS. Letras diferentes indican diferencias significativas. t-Student ($P < 0.01$).

3. Altura de las plantas de *C. officinalis*

La Figura 21 muestra la altura final de las plantas en MVH y CS. La altura inicial de las plantas fue de 20 cm en promedio. Al final del experimento, las plantas del MVH alcanzaron una altura promedio de 25 cm; por otro lado, en el CS la altura de las plantas no se diferenció de la inicial.

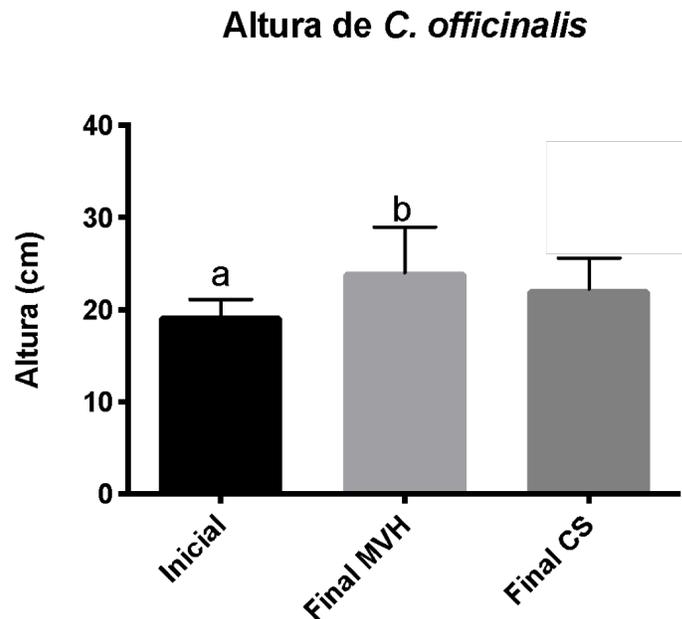


Figura 21. Altura de las plantas de *C. officinalis* en MVH y en CS. Letras diferentes indican diferencias significativas. ANOVA de una vía ($P < 0.05$) y prueba de comparación múltiple Tukey

4. Biomasa total

El desarrollo de la biomasa total es un factor importante en esta planta, ya que estudios recientes (Lovecka et al., 2017) demostraron a partir de extractos acuosos y metanólicos de las hojas y flores de *C. officinalis*, que las hojas contienen los mismos MS que las flores; además, realizaron estudios de actividad antimicrobiana y todos los extractos presentaron actividad biológica de manera dependiente a la concentración. Por lo que la producción de hojas también es importante desde el punto de vista de la terapéutica, y este factor se ve reflejado en la biomasa de la planta. En la Figura 22 muestra la gráfica comparativa de la biomasa total; se puede ver que las plantas del MVH produjeron 20.2 g en promedio, en contraste, las del CS solo alcanzaron una producción promedio de 9.9 g.

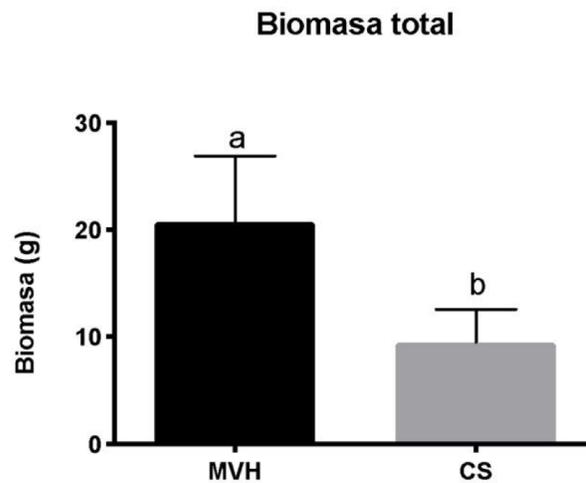


Figura 22. Biomasa total final de *C. officinalis*. Letras diferentes indican diferencias significativas. t-Student ($P < 0.01$)

5. Longitud de la raíz

En la Figura 23 se muestra la gráfica del desarrollo de la raíz primaria en los cultivos. Las raíces de las plantas del MVH alcanzaron una longitud promedio de 14 cm, mientras que las del CS de 22 cm. Las plantas del CS podrían requerir desarrollar raíces primarias más largas para abastecer su hidratación y nutrición, mientras que las raíces primarias más cortas de las plantas del MVH tienen ya de forma continua nutrientes disponibles.

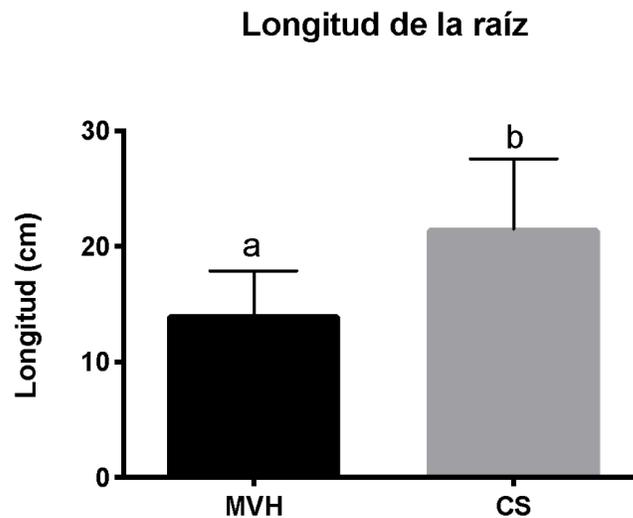


Figura 23. Longitud de la raíz primaria de *C. officinalis* en MVH y CS. Letras diferentes indican diferencias significativas. t-Student ($P < 0.01$).

6. Biomasa de la raíz

El promedio de la biomasa de la raíz en el MVH fue de 5.1 g; por otro lado, el CS tuvo valores de 2.3 g (Figura 24).

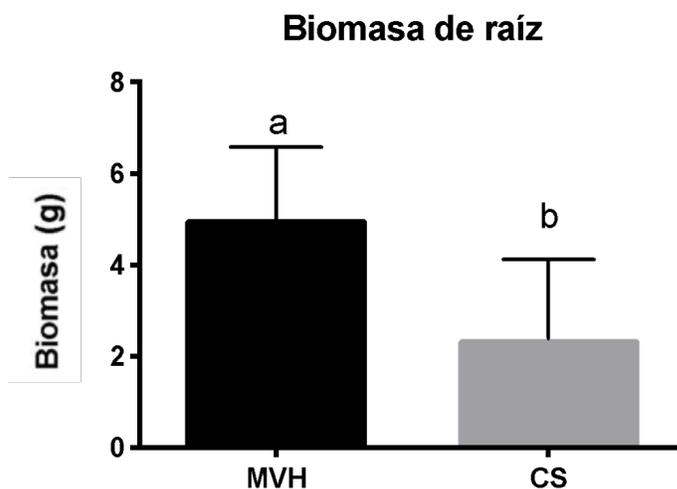


Figura 24. Biomasa de la raíz de *C. officinalis* en MVH y CS. Letras diferentes indican diferencias significativas. t-Student ($P < 0.01$)

Se sabe que la raíz es el anclaje de la planta, y está relacionada con la tarea de la búsqueda de agua y nutrientes que soporten el desarrollo de la parte aérea. Obsérvese que las plantas del MVH que alcanzaron más altura, también desarrollaron una mayor biomasa de la raíz, la cual le ofrece un mejor sostén. En un estudio con lechuga (*Lactuca sativa* L.), se observó una mayor producción de biomasa de raíz en un cultivo hidropónico versus un cultivo en suelo (Lei & Engeseth, 2021).

Estudios comparativos de cultivos hidropónicos y suelo, en guisantes, okra y pepino (Fan et al., 2009; Gashgari et al., 2018) mostraron una mayor producción de biomasa total en el cultivo hidropónico.

7. Rendimientos de los extractos hexánicos.

Los rendimientos obtenidos de las extracciones son importantes porque indican qué tan eficiente es la producción de los MS.

La Figura 25 muestra los rendimientos de los extractos hexánicos. Se puede ver una tendencia constante en el CS, mientras tanto, en el MVH se observa creciente conforme a los meses. Los rendimientos fueron mayores en el CS en los meses de septiembre, octubre y noviembre; permanecieron iguales en los meses de diciembre y enero; y en el mes de febrero, el MVH alcanzó mayores rendimientos.

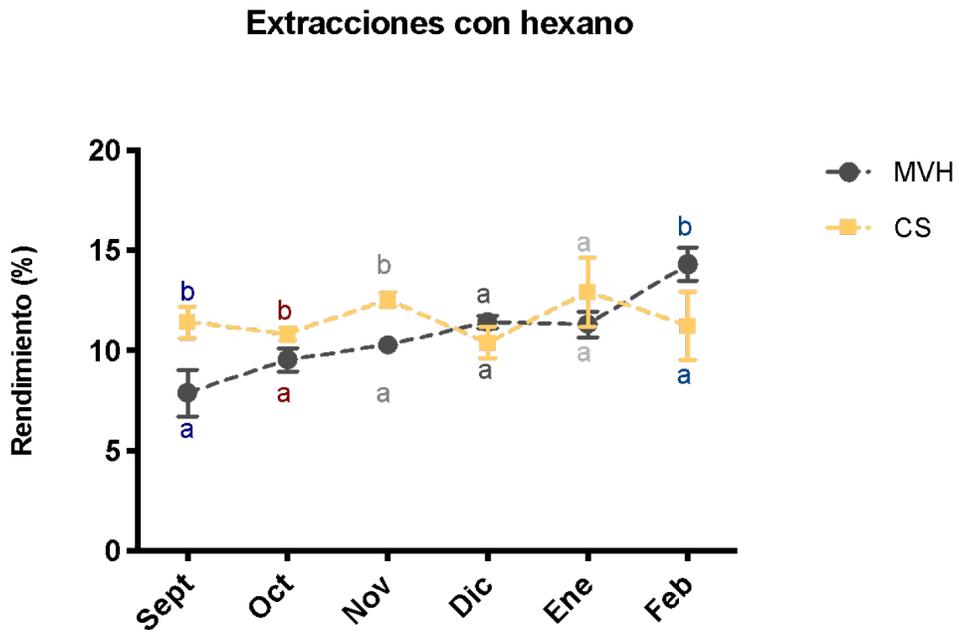


Figura 25. Comparación de los rendimientos hexánicos en el MVH y CS. Letras diferentes indican diferencias significativas. t-Student ($P < 0.01$)

8. Perfil de terpenos en el extracto de hexano

Los perfiles cromatográficos terpenos de los extractos hexánicos del MVH y del CS se muestran en la Figura 25. Se observa una banda correspondiente con el factor de retención (Rf) del estigmasterol en los dos perfiles en todos los meses. En cuanto a los estándares de β - amirina y lupeol, encontramos un Rf similar, por lo que se infiere que las bandas correspondientes con el Rf de dichos estándares en los perfiles, corresponde a una mezcla de ambos, dado que los dos MS están reportados en esta especie.

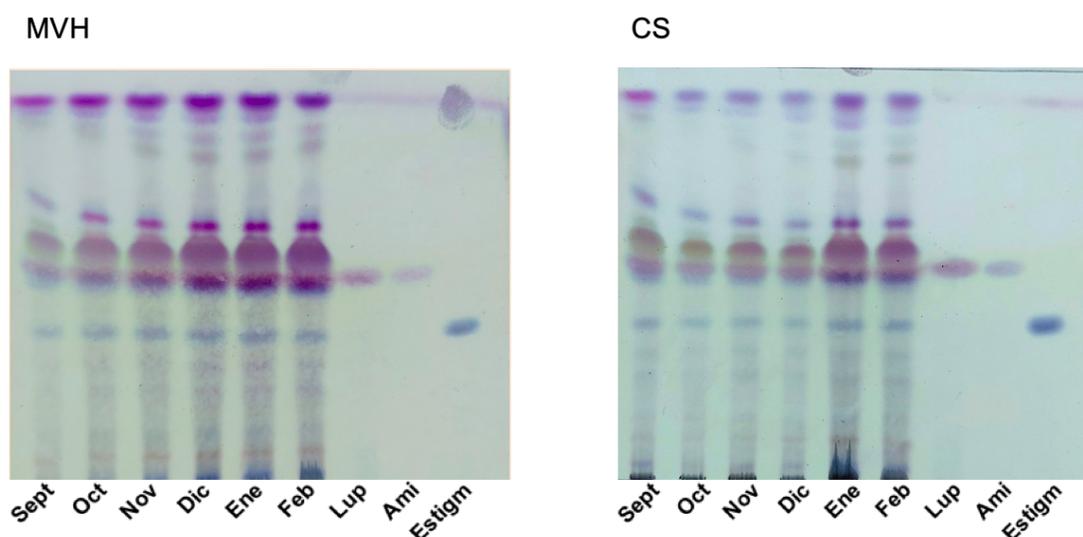


Figura 25. Terpenos identificados en los extractos de hexano del MVH y CS.

Identificación de lupeol (Lup), β - amirina (Ami) y estigmasterol (Estigm).

9. Rendimientos de los extractos con acetato de etilo.

Los rendimientos obtenidos con acetato de etilo en el MVH y en el CS muestran tendencias semejantes (Figura 26) y niveles estadísticamente iguales, excepto en los meses de noviembre y febrero, donde los rendimientos fueron mayores en el MVH.

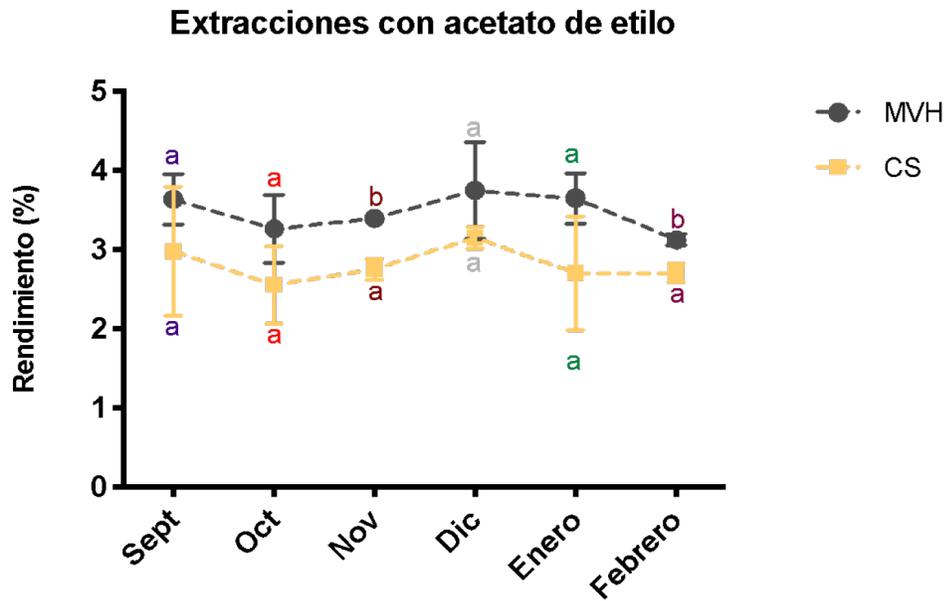


Figura 26. Comparación de los rendimientos con acetato de etilo en el MVH y en el CS. Letras diferentes indican diferencias significativas. t-Student ($P < 0.01$)

10. Perfil de terpenos en el extracto de acetato de etilo

El perfil de terpenos del extracto de acetato de etilo se muestra en la Figura 27. Se puede identificar al estigmasterol y a las bandas que corresponden a la mezcla de lupeol y β -amirina en todos los meses. En contraste con el perfil cromatográfico de la Figura 25, se puede percibir de forma cualitativa, que la saturación de las bandas es menor, lo cual indicaría que el extracto de hexano acarrea mayores concentraciones de estos terpenos.

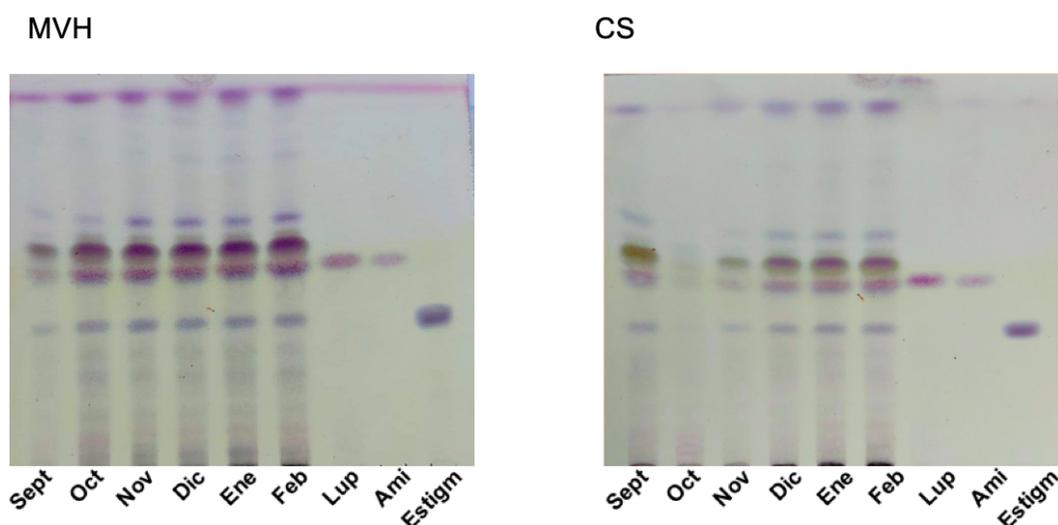


Figura 27. Terpenos identificados en los extractos de acetato de etilo en los meses de cultivo del MVH y del CS. Lupeol (Lup), β -amirina (Ami) y estigmasterol (Estigm)

11. Perfil de flavonoides no glicosilados

La Figura 28 muestra el perfil cromatográfico de los flavonoides no glicosilados. En cada perfil, se puede observar una banda correspondiente con el Rf de la quercetina, sin embargo, la coloración del estándar con respecto a las muestras es

mayor, esto podría deberse a una escasa concentración de este metabolito en las muestras.

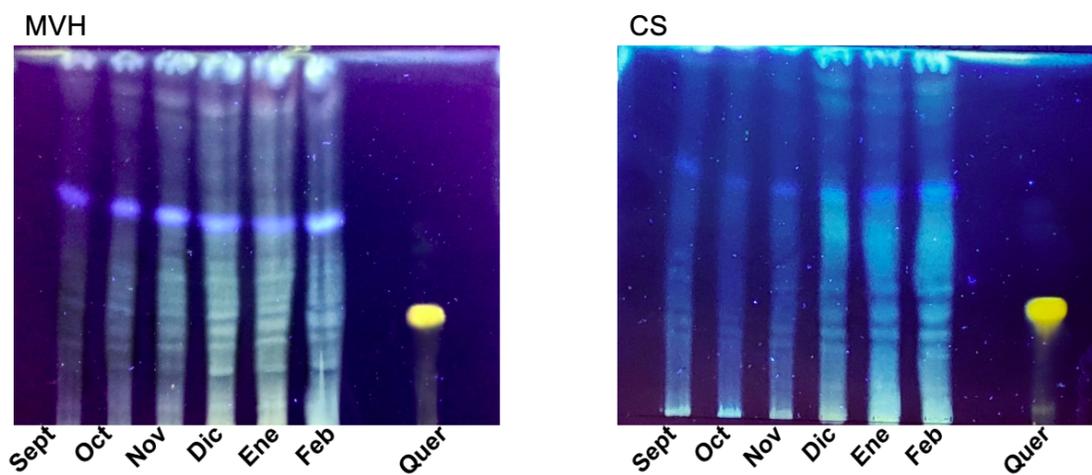


Figura 28. Perfil cromatográfico de los flavonoides no glicosilados del extracto de acetato de etilo del MVH y del CS; identificación de quercetina (Quer).

12. Rendimientos obtenidos con metanol.

Los rendimientos obtenidos con metanol fueron semejantes en los meses de septiembre, octubre, noviembre y en el último mes, febrero. En los meses de diciembre y enero el MVH presentó una baja muy marcada, mientras que el CS se mantuvo, mostrando mejores rendimientos en estos dos meses (Figura 29).

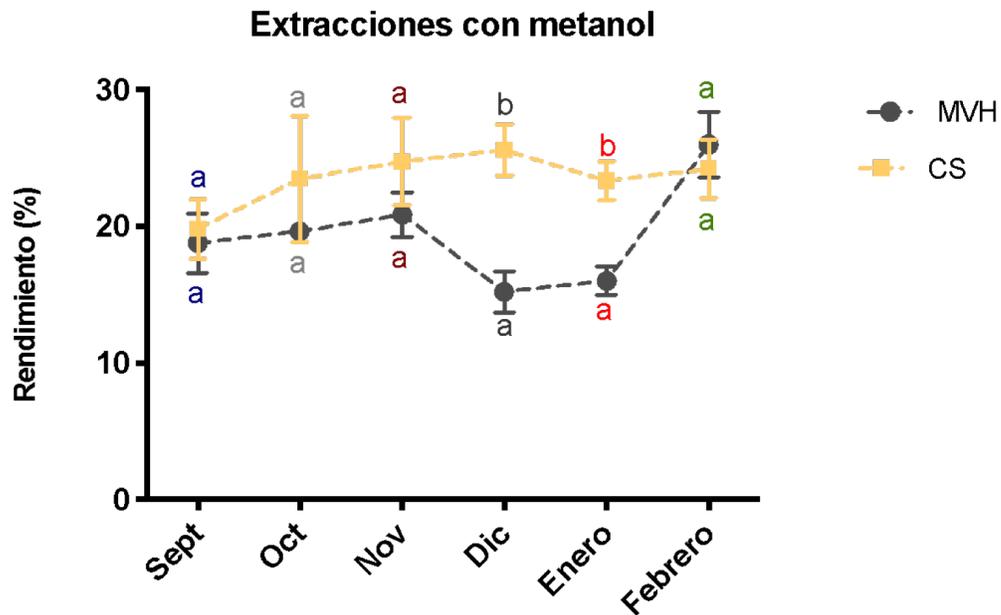


Figura 29. Comparación de los rendimientos con metanol del MVH y del CS. Letras diferentes indican diferencias significativas. t student ($P < 0.01$)

13. Perfil de flavonoides glicosilados

La Figura 30 muestra los perfiles cromatográficos de flavonoides glicosilados. En ambos se puede ver la presencia de rutina en todos los meses. La coloración del estándar con respecto a las muestras es mayor, esto podría deberse a una menor concentración de este metabolito en las muestras.

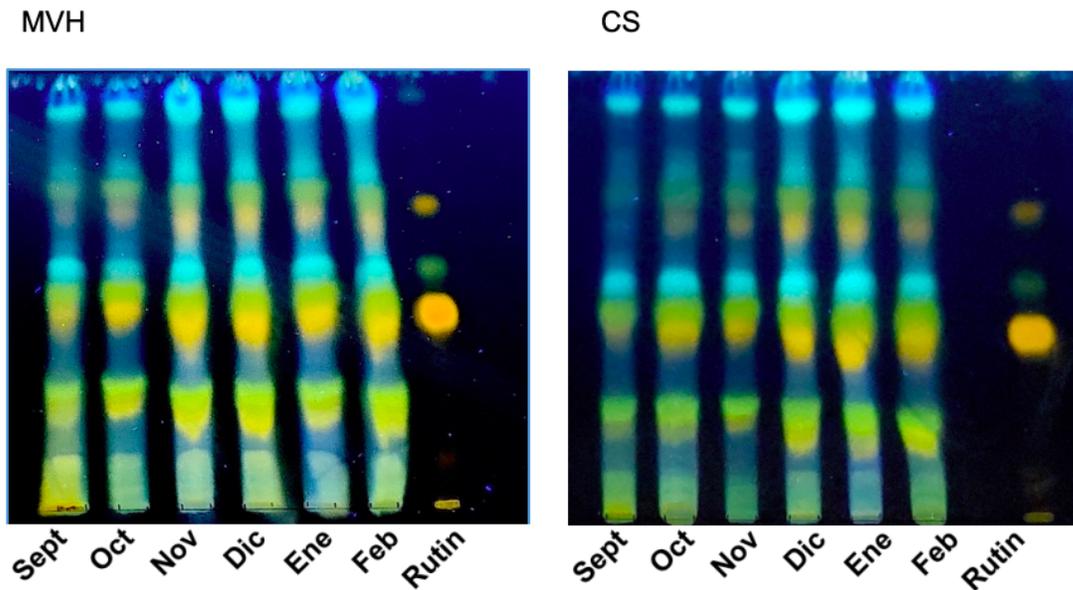


Figura 30. Perfil cromatógrafo de flavonoides glicosilados del extracto de metanol del MVH y del CS; identificación de rutina.

De manera cualitativa se puede apreciar que las bandas de los perfiles cromatográficos (Figura 25, 27, 28 y 30) están más saturadas en el MVH, como también, en los meses de enero y febrero en ambas placas. Lo anterior corresponde a que hubo una mayor producción de flores en dichos meses (ver Figura 20), y por lo tanto, hubo una mayor cantidad de material vegetal colectado para la obtención de los concentrados.

Los resultados obtenidos corroboran que las distintas condiciones de cultivo derivan en variaciones en el desarrollo de la planta, como también, sugieren variaciones en la producción de sus MS. Esto remite a citar las diferencias más sobresalientes que guardan estos dos sistemas de cultivo. Por un lado, la toma y disposición de los nutrientes es distinta. En hidroponía, los nutrientes ya se encuentran en forma de aniones y cationes listos para que las raíces puedan asimilarlos continuamente (Fan et al., 2009; Castillo et al., 1983) mientras tanto, en el suelo el suministro no es continuo, es a partir del riego con agua (una vez al día en este experimento), que se forman dichos cationes y aniones asimilables para la planta. Además de esto, puede haber influencia de otras formas de nutrición en el suelo que no son tan directas, éstas involucran complejas asociaciones entre las raíces y la microbiota del suelo (Harrison, 2005; Metlen et al., 2009; Bais et al., 2002). Otra diferencia que resalta en estos dos tipos de cultivo, es la forma en que la temperatura ambiental los afecta. Mientras que el suelo de los cultivos ofrece una matriz muy estable a la temperatura del ambiente, el cultivo con hidroponía es más sensible a estos cambios, dado que la raíz que está en constante humedad se alimenta solo con una pequeña película de solución en un tubo de plástico (en este caso de polícloruro de vinilo, pvc) (Maucieri et al., 2019).

X. CONCLUSIONES

1. Las diferencias en el desarrollo de *C. officinalis* son debidas a las características propias que posee cada sistema de cultivo y las condiciones ambientales del mes.
2. El desarrollo de *C. officinalis* se favoreció en el MVH, al presentar mayor biomasa total, mayor altura y mayor número de capítulos respecto al CS. Esto resulta muy conveniente debido a las ventajas que ofrece este sistema sobre CS (Yoshimatsu, 2012; Castillo et al., 1983).
3. Con el CS se obtuvieron mejores rendimientos en los extractos de hexano en septiembre, octubre y noviembre; y con metanol en noviembre y diciembre.
4. Con el MVH se obtuvieron mejores rendimientos en los extractos de hexano en febrero; con acetato de etilo en noviembre, diciembre y febrero.
5. Se evidenció la presencia de los terpenos: β -amirina, lupeol y estigmasterol, como también de los flavonoides: quercetina y rutina en los dos sistemas de cultivo.

PERSPECTIVA

Realizar una comparación de la concentración de los MS buscados, con la técnica analítica de cromatografía de líquidos de alta presión (HPLC).

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta de la Luz, L., Rodríguez Ferradá, C., & Sánchez Govín, E. (2001). Instructivo técnico de *Calendula officinalis*. *Revista cubana de plantas medicinales*, 6(1), 23–27.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102847962001000100006
- Agelet, A., Bonet, M. À., & Vallés, J. (2000). Homegardens and their role as a main source of medicinal plants in mountain regions of Catalonia (Iberian peninsula). *Economic Botany*, 54(3), 295–309. <https://doi.org/10.1007/bf02864783>
- Akerele, O. (1993). Nature's medicinal bounty : don't throw it away. *World Health Forum* 1993 ; 14(4) : 390-395. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/51722>
- Almeida-Cortez, J. S., Shipley, B., & Arnason, J. T. (1999). Do plant species with high relative growth rates have poorer chemical defences?: RGR and chemical defences. *Functional Ecology*, 13(6), 819–827. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00383.x>
- Angulo, J. R. (2013). Cómo cultivar caléndula en el huerto. Agromática. <https://www.agromatica.es/calendula/>
- Aragao, G. F., Pinheiro, M. C. C., Bandeira, P. N., Lemos, T. L. G., & Viana, G. S. de B. (2008). Analgesic and anti-inflammatory activities of the isomeric mixture of alpha- and beta-amyrin from *Protium heptaphyllum*(Aubl.) March. *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 7(2), 31–47. https://doi.org/10.1080/j157v07n02_03
- Arora, D., Rani, A., & Sharma, A. (2013). A review on phytochemistry and ethnopharmacological aspects of genus *Calendula*. *Pharmacognosy Reviews*, 7(14), 179–187. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.120520>
- Ashwlayan, V. D., Kumar, A., Verma, M., Garg, V. K., & Gupta, S. K. (2018). Therapeutic Potential of *Calendula officinalis*. *Pharmacy & Pharmacology International Journal*, 6(2), 62–65. <https://doi.org/10.15406/ppij.2018.06.00171>
- Badoni, R., Semwal, D. K., & Rawat, U. (2009). Altitudinal variation in the volatile constituents of *Artemisia nilagirica*. *Int. J. Ess. Oil Therap*, 3, 66-68.
- Bais, H. P., Walker, T. S., Stermitz, F. R., Hufbauer, R. A., & Vivanco, J. M. (2002). Enantiomeric-dependent phytotoxic and antimicrobial activity of (+/-)-catechin. A

- rhizosecreted racemic mixture from spotted knapweed. *Plant Physiology*, 128(4), 1173–1179. <https://doi.org/10.1104/pp.011019>
- Bakó, E., Deli, J., & Tóth, G. (2002). HPLC study on the carotenoid composition of *Calendula* products. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 53(1–3), 241–250. [https://doi.org/10.1016/s0165-022x\(02\)00112-4](https://doi.org/10.1016/s0165-022x(02)00112-4)
- Barton, K. E., & Koricheva, J. (2010). The ontogeny of plant defense and herbivory: characterizing general patterns using meta-analysis. *The American Naturalist*, 175(4), 481–493. <https://doi.org/10.1086/650722>
- Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana*. (2009). UNAM. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/>
- Boncan, D. A. T., Tsang, S. S. K., Li, C., Lee, I. H. T., Lam, H.-M., Chan, T.-F., & Hui, J. H. L. (2020). Terpenes and terpenoids in plants: Interactions with environment and insects. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), 7382. <https://doi.org/10.3390/ijms21197382>
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*, 54(5), 464–465. <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>
- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39–46. <https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
- Castillo, F. S., Rebolledo, E. R. E., & Universidad Autónoma Chapingo. Patronato Universitario. (1983). *Un sistema de producción de plantas, hidroponia: principios y métodos de cultivo*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Castillo-Arellano, J. I., Osuna-Fernández, H. R., Mumbru-Massip, M., Gómez-Cancino, R., & Reyes-Chilpa, R. (2019). The biosynthesis of pharmacologically active compounds in *Calophyllum brasiliense* seedlings is influenced by calcium and potassium under hydroponic conditions. *Botanical Sciences*, 97(1), 89-99. <https://doi.org/10.17129/botsci.2018>
- Cetkovic, G., S., Djilas, S., M., Canadanovic-Brunet, J., M., & Tumbas, V., T. (2003). Thin-layer chromatography analysis and scavenging activity of marigold (*Calendula*

officinalis L) extracts. *Acta Periodica Technologica*, 34, 93–102.
<https://doi.org/10.2298/apt0334093c>

Chakraborty, G. (2010). Antidiabetic and Antihyperlipidaemic Effect of Hydro-alcoholic Extract of *Calendula officinalis*. *Journal of analytical & bioanalytical techniques*, 01(01). <https://doi.org/10.4172/2155-9872.1000028>

Cragg, G. M., & Newman, D. J. (2013). Natural products: a continuing source of novel drug leads. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1830(6), 3670–3695.
<https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.02.008>

Croteau, R. (1998). The discovery of terpenes. En *Discoveries in Plant Biology* (pp. 329–343). WORLD SCIENTIFIC.

Cultivos Hidropónicos “Que son, técnicas aplicables, ventajas y desafíos” -. (s/f). Pinterest. Recuperado el 16 de septiembre de 2022, de <https://br.pinterest.com/pin/850265604642649546/>

Ebrahimi, E., Kheirollah, A., Mansouri, E., Babaahmadi-Rezaei, H., & Mohammadzadeh, G. (2019). Effects of hydroalcoholic flower extract of marigold (*Calendula officinalis*) on the biochemical and histological parameters in STZ-induced diabetic rats. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 14(3).
<https://doi.org/10.5812/jjnpp.55456>

Efstratiou, E., Hussain, A. I., Nigam, P. S., Moore, J. E., Ayub, M. A., & Rao, J. R. (2012). Antimicrobial activity of *Calendula officinalis* petal extracts against fungi, as well as Gram-negative and Gram-positive clinical pathogens. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 18(3), 173–176. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2012.02.003>

El cultivo hidropónico, alternativa para combatir la pobreza y evitar el daño ambiental. (2019).

Gob.mx.<http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletins/46263-el-cultivo-hidroponico-alternativa-para-combatir-la-pobreza-y-evitar-el-dano-ambiental.html>

Fan, M.-S., Li, Z., Wang, F.-M., & Zhang, J.-H. (2009). Growth and phosphorus uptake of oat (*Avena nuda* L.) as affected by mineral nitrogen forms supplied in hydroponics and soil culture. *Pedosphere*, 19(3), 323–330. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(09\)60123-5](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(09)60123-5)

- Fang, X., Yang, C.-Q., Yu-Kun, W. E. I., Qi-Xia, M. A., Yang, L., & Chen, X.-Y. (2011). Genomics grand for diversified plant secondary metabolites. *Plant Diversity*, 33(01), 53. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1143.2011.10233>
- Frankic, T., Salobir, K., & Salobir, J. (2009). The comparison of in vivo antigenotoxic and antioxidative capacity of two propylene glycol extracts of *Calendula officinalis* (marigold) and vitamin E in young growing pigs: Antigenotoxic effect of *C. officinalis* extracts in vivo. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 93(6), 688–694. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00855.x>
- Gashgari, R., Alharbi, K., Mughrbil, K., Jan, A., & Glolam, A. (2018). Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. *World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*.
- Gericke, W. F. (1938). Crop production without soil. *Nature*, 141(3569), 536–540. <https://doi.org/10.1038/141536a0>
- Giannenas, I., Sidiropoulou, E., Bonos, E., Christaki, E., & Florou-Paneri, P. (2020). The history of herbs, medicinal and aromatic plants, and their extracts. En *Feed Additives* (pp. 1–18). Elsevier.
- Gimeno, C. E. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *Offarm*, 23(6), 80–84. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-compuestos-fenolicos-un-analisis-sus-13063508>
- Giovannini, P., Reyes-García, V., Waldstein, A., & Heinrich, M. (2011). Do pharmaceuticals displace local knowledge and use of medicinal plants? Estimates from a cross-sectional study in a rural indigenous community, Mexico. *Social Science & Medicine* (1982), 72(6), 928–936. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2011.01.007>
- González, J. E. (1888). *Un discurso y un catálogo de plantas clasificadas dirigidos a los alumnos de la escuela de medicina de Monterrey*, [por] J. Eleuterio González. <https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/10341>
- Hammad, Hafiz. (2014). Growth and performance of *Calendula officinalis* L. on different crop residues. *Uganda Journal of Agricultural Sciences*. 2. 98-101.
- Hamad, M. N., Mohammed, H. J., & Merdaw, M. A. (2017). Antibacterial Activity of *Calendula officinalis* Flowers In Vitro. *Ibn AL- Haitham Journal For Pure and Applied Science*, 24(3). <https://doi.org/10.30526/24.3.735>

- Harrison, M. J. (2005). Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology*, 59(1), 19–42. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.58.030603.123749>
- Hersch-Martínez, P. (1995). Commercialization of wild medicinal plants from Southwest Puebla, México. *Economic Botany*, 49(2), 197–206. <https://doi.org/10.1007/bf02862925>
- Hillier, S. G., & Lathe, R. (2019). Terpenes, hormones and life: isoprene rule revisited. *The Journal of Endocrinology*, 242(2), R9–R22. <https://doi.org/10.1530/joe-19-0084>
- Hofman, P. J., & Menary, R. C. (1980). Variations in morphine, codeine and thebaine in the capsules of *Papaver somniferum* L. during maturation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31(2), 313. <https://doi.org/10.1071/ar9800313>
- Ibrahim, M., Chee Kong, Y., & Mohd Zain, N. (2017). Effect of cadmium and copper exposure on growth, secondary metabolites and antioxidant activity in the medicinal plant sambung nyawa (*Gynura procumbens* (lour.) Merr). *Molecules (Basel, Switzerland)*, 22(10), 1623. <https://doi.org/10.3390/molecules22101623>
- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.15171/jhp.2018.01>
- Janiszowska, W., Michalski, W., & Kasprzyk, Z. (1976). Polyprenyl quinones and α -tocopherol in *Calendula officinalis*. *Phytochemistry*, 15(1), 125–127. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(00\)89066-4](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(00)89066-4)
- Joly, R., Forcella, F., Peterson, D., & Eklund, J. (2013). Planting depth for oilseed calendula. *Industrial Crops and Products*, 42, 133–136. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.016>
- Kalvatchev, Z., Walder, R., & Garzaro, D. (1997). Anti-HIV activity of extracts from *Calendula officinalis* flowers. *Biomedecine & Pharmacotherapie [Biomedicine & Pharmacotherapy]*, 51(4), 176–180. [https://doi.org/10.1016/s0753-3322\(97\)85587-4](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(97)85587-4)
- Kaur, N., Chaudhary, J., Jain, A., & Kishore, L. (2011). *Stigmasterol: A comprehensive review*. [Psu.edu](https://www.psu.edu). Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.278.5424&rep=rep1&type=pdf>

- Kessler, A., & Heil, M. (2011). The multiple faces of indirect defences and their agents of natural selection: Multiple faces of indirect defences. *Functional Ecology*, 25(2), 348–357. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01818.x>
- Kuete, V. (Ed.). (2017). *Medicinal spices and vegetables from Africa: Therapeutic potential against metabolic, inflammatory, infectious and systemic diseases*. Academic Press.
- Lei, C., & Engeseth, N. J. (2021). Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 150(111931), 111931. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111931>
- Loreto, F., & Schnitzler, J.-P. (2010). Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends in Plant Science*, 15(3), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.12.006>
- Lovecka, P., Lipov, J., Thumova, K., & Macurkova, A. (2017). Characterization of Biologically Active Substances from *Calendula officinalis*. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 18(14), 1167–1174. <https://doi.org/10.2174/1389201019666180226151910>
- Maalik, A., Khan, F. A., Mumtaz, A., Mehmood, A., Azhar, S., Atif, M., Karim, S., Altaf, Y., & Tariq, I. (2014). Pharmacological applications of quercetin and its derivatives: A short review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research: TJPR*, 13(9), 1561. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v13i9.26>
- Manal, S., Osama, S., El-Hoda Yassin, N., & Khalid, A. (s/f). *The protective effect of Morus Alba and Calendula officinalis plant extracts on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in isolated rat hepatocytes*. *Psu.edu*. Recuperado el 16 de septiembre de 2022, de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1068.4181&rep=rep1&type=pdf>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Martínez, M. (1944). *Las plantas medicinales de México*. Botas.

- Maucieri, C., Nicoletto, C., van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., & Junge, R. (2019). Hydroponic Technologies. En *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 77–110). Springer International Publishing.
- Melo, C. M., Morais, T. C., Tomé, A. R., Brito, G. A. C., Chaves, M. H., Rao, V. S., & Santos, F. A. (2011). Anti-inflammatory effect of α,β -amyrin, a triterpene from *Protium heptaphyllum*, on cerulein-induced acute pancreatitis in mice. *Et al [Inflammation Research]*, 60(7), 673–681. <https://doi.org/10.1007/s00011-011-0321-x>
- Metlen, K. L., Aschehoug, E. T., & Callaway, R. M. (2009). Plant behavioural ecology: dynamic plasticity in secondary metabolites. *Plant, Cell & Environment*, 32(6), 641–653. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01910.x>
- Moore, T, Sánchez, L, Desmarchelier, C. (2005) Manual de Cultivo y Manejo de Caléndula. Asociación Argentina de Fitomedicina, 3-5
- Muley, B., Khadabadi, S., Banarase, N. (2009). Phytochemical Constituents and Pharmacological Activities of *Calendula officinalis* Linn (Asteraceae): *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 8 (5) 455-465
- Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghieb, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin, F. (2019). Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance. En M. I. R. Khan, P. S. Reddy, A. Ferrante, & N. A. Khan (Eds.), *Plant Signaling Molecules* (pp. 157–168). Elsevier.
- Norma Oficial Mexicana (2022). *NOM 021-SEMARNAT-2000. DIARIO OFICIAL (Segunda Sección) SEGUNDA SECCION SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES*. Gob.mx. Recuperado el 25 de octubre de 2022, de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Oliveira, F. A., Chaves, M. H., Almeida, F. R. C., Lima, R. C. P., Jr, Silva, R. M., Maia, J. L., Brito, G. A. A. C., Santos, F. A., & Rao, V. S. (2005). Protective effect of alpha- and beta-amyrin, a triterpene mixture from *Protium heptaphyllum* (Aubl.) March. trunk wood resin, against acetaminophen-induced liver injury in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(1–2), 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.01.036>
- Oliveira, F. A., Vieira-Júnior, G. M., Chaves, M. H., Almeida, F. R. C., Santos, K. A., Martins, F. S., Silva, R. M., Santos, F. A., & Rao, V. S. N. (2004). Gastroprotective effect of the mixture of alpha- and beta-amyrin from *Protium heptaphyllum*: role of capsaicin-

sensitive primary afferent neurons. *Planta Medica*, 70(8), 780–782. <https://doi.org/10.1055/s-2004-827212>

Parente, L. M. L., Lino Júnior, R. de S., Tresvenzol, L. M. F., Vinaud, M. C., de Paula, J. R., & Paulo, N. M. (2012). Wound healing and anti-inflammatory effect in animal models of *Calendula officinalis* L. growing in Brazil. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, 2012, 375671. <https://doi.org/10.1155/2012/375671>

Petrovska, B. B. (2012). Historical review of medicinal plants' usage. *Pharmacognosy reviews*, 6(11), 1–5. doi:10.4103/0973-7847.95849

Posadzki, P., Watson, L., & Ernst, E. (2013). Contamination and adulteration of herbal medicinal products (HMPs): an overview of systematic reviews. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 69(3), 295–307. <https://doi.org/10.1007/s00228-012-1353-z>

Pratesi, N. (2022). Hidroponía, guía completa para principiantes: La guía completa para el agricultor hágalo usted mismo sobre cómo cultivar frutas y verduras desde la comodidad de su hogar. (n.d.). (n.p.): Nicolás Pratesi. <https://doi.org/10.5860/choice.50-1800>

Preethi, K. C., Kuttan, G., & Kuttan, R. (2006). Antioxidant Potential of an Extract of *Calendula officinalis*. Flowers in Vitro. and in Vivo. *Pharmaceutical Biology*, 44(9), 691–697. <https://doi.org/10.1080/13880200601009149>

Purwal, L., Shrivastava, V., Makode, K. K., & Jain, U. K. (2010). Anthelmintic activity of aqueous extracts of some Saponin containing medicinal plants. *Der pharmacia lettre*, 2(4), 476–481. <https://www.scholarsresearchlibrary.com/abstract/anthelmintic-activity-of-aqueous-extracts-of-some-saponin-containing-medicinal-plants-5103.html>

Raymond, E. (2017, marzo 28). Estado actual de la agricultura protegida en México. Berger - ES; Berger. <https://www.berger.ca/es/recursos-para-los-productores/tips-y-consejos-practicos/estado-actual-la-agricultura-protegida-mexico/>

Radušienė, J., Karpavičienė, B., & Stanius, Ž. (2012). Effect of external and internal factors on secondary metabolites accumulation in St. John's wort. *Botanica Lithuanica*, 18(2), 101–108. <https://doi.org/10.2478/v10279-012-0012-8>

- Rajendran, L., Ravishankar, G. A., Venkataraman, L. V., & Prathiba, K. R. (1992). Anthocyanin production in callus cultures of *Daucus carota* as influenced by nutrient stress and osmoticum. *Biotechnology Letters*, 14(8), 707–712. <https://doi.org/10.1007/bf01021647>
- Ray, D., Mukherjee, S., Falchi, M., Bertelli, A., & Das, D. K. (2010). Amelioration of myocardial ischemic reperfusion injury with *Calendula officinalis*. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11(8), 849–854. <https://doi.org/10.2174/138920110793261971>
- Sakharkar, P. R., Kasiram, K., & Patil, A. T. (2000). Antimicrobial activity of *Calendula officinalis*. *Hamdard Medicus*, 43(2), 5-7.
- Saleem, M. (2009). Lupeol, a novel anti-inflammatory and anti-cancer dietary triterpene. *Cancer Letters*, 285(2), 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2009.04.033>
- Saleh, M. (1970). *The effect of air temperature and thermoperiod on the quality and quantity of Matricaria chamomilla l. Oil*. Wur.nl. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de <https://edepot.wur.nl/290046>
- Sarenat, S. A. (s/f). *Caléndula*. Fitoterapia.net. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de <https://www.fitoterapia.net/vademecum/plantas/calendula.html>
- Schippmann, U., Leaman, D., & Cunningham, A. B. (2007). A comparison of cultivation and wild collection of medicinal and aromatic plants under sustainability aspects. En *Medicinal and Aromatic Plants* (pp. 75–95). Springer Netherlands.
- Schmidt, B., Ribnicky, D. M., Poulev, A., Logendra, S., Cefalu, W. T., & Raskin, I. (2008). A natural history of botanical therapeutics. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 57(7 Suppl 1), S3-9. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2008.03.001>
- Seigler, D. S. (1994). *Plant Secondary Metabolism* (1998a ed.). Chapman and Hall.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, S. (s/f). Hidroponía, opción de desarrollo sustentable. gob.mx. Recuperado el 11 de abril de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hidroponia-opcion-de-desarrollo-sustentable>
- Sessé, M., Moziño, J. M., Ramirez, R., & Mexico. Secretaría de Fomento. (1887). *Plantae Novae Hispaniae: Nutu, ope, et auspicio benignissimi regis Caroli iv, Hucusque collectae, et linneano systemate ordinatae, quarum tercentae aut plures a nemine*

unquam editae videntur et rariores iconibus ad vivum representatur. Oficina tip. de la Secretaría de fomento.

- Seves, M. B. (2018, septiembre 27). *La increíble historia de la hidroponía: desde los babilonios hasta la segunda guerra mundial.* In *Naturale*. <https://www.innaturale.com/es/la-increible-historia-de-la-hidroponia-desde-los-babilonios-hasta-la-segunda-guerra-mundial/>
- Sharma, S., Ali, A., Ali, J., Sahni, J. K., & Baboota, S. (2013). Rutin : therapeutic potential and recent advances in drug delivery. *Expert Opinion on Investigational Drugs*, 22(8), 1063–1079. <https://doi.org/10.1517/13543784.2013.805744>
- Singh, S. K. (2018). Explorations of plant's chemodiversity: Role of nitrogen-containing secondary metabolites in plant defense. En *Molecular Aspects of Plant-Pathogen Interaction* (pp. 309–332). Springer Singapore.
- Sofowora, A., Ogunbodede, E., & Onayade, A. (2013). The role and place of medicinal plants in the strategies for disease prevention. *African Journal of Traditional, Complementary, and Alternative Medicines*, 10(5), 210–229. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v10i5.2>
- Stearn, W. T. (2004). *Botanical Latin* (en inglés). Timber Press (OR). p. 456. ISBN 0881926272.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2006) *Plant physiology. 4th Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland.* - references - scientific research publishing. (s/f). Scirp.org. Recuperado el 13 de septiembre de 2022, de [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkozje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=717115](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=717115)
- Tanase, C., Bujor, O.-C., & Popa, V. I. (2019). Phenolic natural compounds and their influence on physiological processes in plants. En R. R. Watson (Ed.), *Polyphenols in Plants* (pp. 45–58). Elsevier.
- Ukiya, M., Akihisa, T., Yasukawa, K., Tokuda, H., Suzuki, T., & Kimura, Y. (2006). Anti-inflammatory, anti-tumor-promoting, and cytotoxic activities of constituents of marigold (*Calendula officinalis*) flowers. *Journal of Natural Products*, 69(12), 1692–1696. <https://doi.org/10.1021/np068016b>

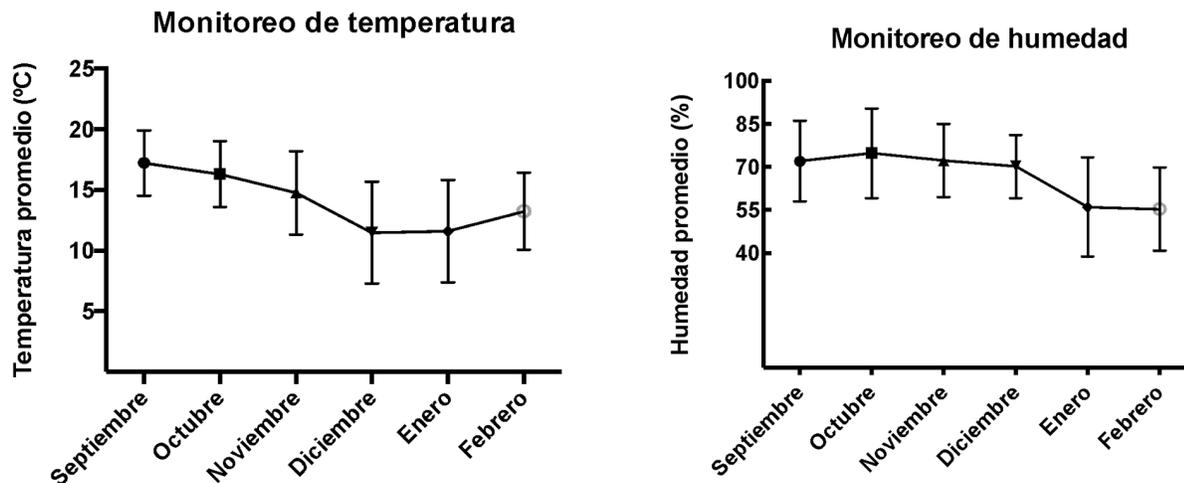
- Ullah, N., Khurram, M., Amin, M. U., Khan, T. A., Khayyam, S. U., Khan, F. A., Najeeb, U., & Ullah, S. (2012). Impact of geographical locations on *Mentha spicata* antibacterial activities. *Journal of Medicinal Plant Research*, 6(7), 1201–1206. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.926>
- Ulrychová, M., & Sosnová, V. (1970). Effect of phosphorus deficiency on anthocyanin content in tomato plants. *Biologia Plantarum*, 12(3), 231–235. <https://doi.org/10.1007/bf02920805>
- Vendrell, P. F., & Zupancic, J. (1990). Determination of soil nitrate by transnitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21(13–16), 1705–1713. <https://doi.org/10.1080/00103629009368334>
- Verma, N., y Shukla, S. (2015). Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.002>
- Wagner, H., & Blatt, S. (1996). *Plant drug analysis: A thin layer chromatography atlas*. Springer Berlin Heidelberg.
- Wallaart, T. E., Pras, N., Beekman, A. C., & Quax, W. J. (2000). Seasonal variation of artemisinin and its biosynthetic precursors in plants of *Artemisia annua* of different geographical origin: proof for the existence of chemotypes. *Planta Medica*, 66(1), 57–62. <https://doi.org/10.1055/s-2000-11115>
- Wilkomirski, B., y Kasprzyk, Z. (1979). Free and ester-bound triterpene alcohols and sterols in cellular subfractions of *Calendula officinalis* flowers. *Phytochemistry*, 18(2), 253–255. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(79\)80064-3](https://doi.org/10.1016/0031-9422(79)80064-3)
- World Health Organization. (2013). *WHO traditional medicine strategy: 2014-2023*. World Health Organization.
- World Health Organization. Programme on Traditional Medicine. (2001). *Legal status of traditional medicine and complementary/alternative medicine : a worldwide review*. World Health Organization.
- World Health Organization(WHO). (1999). *WHO expert monographs on selected medicinal plants: V. 1*. World Health Organization.

- Yehya, N., y Naguib, M. (2011). Organic vs chemical fertilization of medicinal plants: A concise review of researches. Aensiweb.com. Recuperado el 16 de septiembre de 2022, de <http://www.aensiweb.com/old/aeb/2011/394-400.pdf>
- Yoshikawa, M., Murakami, T., Kishi, A., Kageura, T., y Matsuda, H. (2001). Medicinal flowers. III. Marigold. (1): hypoglycemic, gastric emptying inhibitory, and gastroprotective principles and new oleanane-type triterpene oligoglycosides, calendasaponins A, B, C, and D, from Egyptian *Calendula officinalis*. Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 49(7), 863–870. <https://doi.org/10.1248/cpb.49.863>
- Yoshimatsu, K. (2012). Innovative cultivation: Hydroponics of medicinal plants in the closed-type cultivation facilities. *Journal of Traditional Medicines*, 29(1), 30–34. <https://doi.org/10.11339/jtm.29.30>

ANEXO 1

Registro de temperatura y humedad ambiental en el sitio de los cultivos

Las gráficas muestran el registro de la temperatura y de la humedad promedio por mes, en el MVH y en el CS durante septiembre del 2019 a febrero del 2021.



Gráficas de registros promedio de cada mes de la humedad y la temperatura en el MVH y CS

La humedad relativa de septiembre a diciembre alcanzó valores alrededor del 70%. Presentó una caída en enero y febrero con valores cercanos al 55%.

La temperatura marcó un valor mayor en el mes de septiembre con 17° C, comenzó a bajar hasta 15° C conforme llegaron los siguientes meses, octubre y noviembre. Las temperaturas mas bajas se tuvieron en los meses de diciembre y enero, con un valor promedio aproximado de 12° C. Posteriormente en el mes de febrero, se presentó una elevación aproximadamente a 14° C.