



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ÁREA ACADEMICA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL E
INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

T E S I S

“Efecto de la adición de cascarilla de café en sustrato en el desarrollo fisiológico temprano de *Calendula officinalis* L.”

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Ingeniera Agroindustrial**

P R E S E N T A

Ximena Ramírez Roldán

DIRECTOR

Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo

CODIRECTOR

Dra. Iridiam Hernández Soto

Asesores

Dra. Elizabeth Pérez Soto

Dr. Uriel González Lemus

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., octubre del 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial Engineering and Food Engineering

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 07 de octubre de 2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **Ximena Ramírez Roldán**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Efecto de la adición de cascarilla de café en sustrato en el desarrollo fisiológico temprano de *Calendula officinalis* L.”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

Dr. Antonio de Jesus Cenobio Galindo

Dr. Uriel González Lemus

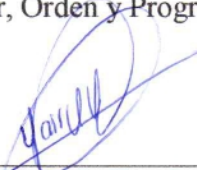
Dra. Elizabeth Pérez Soto

Dra. Iridiam Hernández Soto



Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”



Dr. Yair Olovaldo Santiago Saenz
Coordinador de la Licenciatura en
Ingeniería Agroindustrial



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021
ricardo_navarro@uaeh.edu.mx

“Amor, Orden y Progreso”



WORLD
UNIVERSITY
RANKINGS

2025



Times
Higher
Education



uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Principalmente, al Dr. Antonio, mi director de tesis, por confiar en mí. Su paciencia, experiencia y conocimientos fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A mi abuelita Margarita, por brindarme su tiempo, su espacio y compartir conmigo su sabiduría; su apoyo fue indispensable en este proyecto.

Agradezco también a todos mis profesores, quienes inspiraron profundamente al compartir su amor por la carrera. Su impulso fue fundamental para llegar hasta aquí.

DEDICATORIAS

Dedico este proyecto de investigación a todas aquellas personas que me acompañaron en el camino y con ello lo hicieron posible, en especial:

A mi compañero de vida, mi hermano Marco Antonio, por ser mi más grande ejemplo a seguir, la persona más inteligente que conozco y la que más admiro. No somos uno; aquí siempre seremos dos.

A mis padres, Rosalva Roldán y Víctor Manuel, quienes confiaron en mí incluso cuando yo no lo hacía. Con su cariño, paciencia y cuidados me acompañaron en este camino, facilitándome todo cuanto pudieron.

A mi mejor amiga, Andrea Cornejo, quien desde el primer día se convirtió en el sostén más importante de mi etapa universitaria. Conocerla ha sido una de las mejores cosas que me han pasado y siempre estaré agradecida por ello.

A Claudia, Giovani, Nelly, Daniel, Yas y Diana, por recordarme qué es lo que más valoro. La vida se vuelve más sencilla cuando tienes como guía a quienes quieres y te quieren.

A Jimmy y Karelía, por confiar en mí, motivarme y seguir construyendo juntos un equipo que se acompaña incluso a la distancia.

A Mario Balvis, por compartir conmigo su fe y su forma de ver la vida, por enseñarme con amor que en comunidad todo es más liviano y por su ayuda directa en la realización de este proyecto.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución parcial del sustrato por cascarilla de café sobre el desarrollo fisiológico temprano de *Calendula officinalis* L. El experimento consistió en cuatro tratamientos cada uno con diferente porcentaje de sustitución: T0 (0% cascarilla), T5 (5%), T10 (10%) y T15 (15%) con cinco repeticiones por tratamiento, y una evaluación posterior a las 12 semanas de siembra. Se realizaron análisis bromatológicos de la cascarilla, los resultados demostraron 10.34% de humedad, 1.01% de cenizas, 2.52% de proteína y un alto contenido de fibra cruda con un 63.85%. Se determinaron variables morfológicas de crecimiento como altura, diámetro del tallo, número de hojas, longitud radicular y peso fresco aéreo. Los resultados mostraron que cualquier dosis de cascarilla produjo raíces significativamente más largas respecto al tratamiento testigo, lo que sugiere una mejora física del sustrato (aireación/estructura). No se observaron diferencias significativas en altura ni número de hojas, mientras que el diámetro del tallo y peso fresco aéreo aumentó significativamente gracias a una dosis baja (5%). En conclusión, los hallazgos indican que la cascarilla de café puede emplearse como sustituto parcial del sustrato en cultivos para favorecer el desarrollo radicular y, a bajas dosis, mejorar variables de crecimiento en etapa temprana de la plántula.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	2
2.1 <i>Calendula officinalis</i> L.....	2
2.2 Bioestimulantes en el rendimiento agrícola.....	2
2.3 Cascarilla de café como sustrato	2
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Propiedades y generalidades de la caléndula.....	4
3.2 Bioestimulantes.....	5
3.2.1 Compuestos que contienen nitrógeno	6
3.3 Sustratos.....	7
3.4 Peat Moss.....	8
3.5 Café.....	8
3.6 Cascarilla de café.....	10
3.6.1 Beneficio seco	11
3.6.2 Beneficio húmedo.....	11
3.6.3 Cafeína.....	12
3.6.4 Otros usos de la cascarilla.....	13
3.6.4.1 Silo	13
3.6.4.2 Forrajes.....	13
3.6.4.3 Como aditivo en la industria alimentaria	14
4. JUSTIFICACIÓN.....	15
5. HIPÓTESIS.....	16
6. OBJETIVO GENERAL	16
6.1 Objetivos específicos.....	16
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
7.1 Determinación de la composición química de la cascarilla de café..	17
7.1.1 Determinación de humedad	17
7.1.2 Determinación de cenizas.....	17
7.1.3 Determinación de proteína.....	17
7.1.4 Determinación del extracto etéreo.....	18

7.1.5	Determinación de fibra cruda.....	18
7.2	Cultivo de plantas de caléndula.....	18
7.2.1	Siembra en almácigo.....	19
7.2.2	Trasplante.....	19
7.3	Descripción de los tratamientos y sus porcentajes de sustitución de sustrato por cascarilla de café.....	19
7.4	Riego y cuidados del cultivo.....	19
7.5	Medición de las variables de respuesta.....	20
7.5.1	Altura.....	20
7.5.2	Diámetro del tallo.....	20
7.5.3	Número de hojas.....	20
7.5.4	Peso fresco aéreo.....	20
7.5.5	Longitud radicular.....	20
7.6	Análisis estadístico.....	21
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
8.1	Análisis bromatológico.....	22
8.2	Variables de respuesta.....	23
8.2.1	Longitud de raíces.....	23
8.2.2	Altura y número de hojas.....	24
8.2.3	Peso fresco aéreo.....	25
8.2.4	Diámetro del tallo.....	26
9.	CONCLUSIONES.....	28
	REFERENCIAS.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Caléndula officinalis</i> L.....	10
Tabla 2. Clasificación taxonómica <i>Coffea arabica</i> L.....	15
Tabla 3. Descripción de los tratamientos experimentales	25
Tabla 4. Porcentaje de solución nutritiva según la etapa de crecimiento.	26
Tabla 5. Análisis proximal de la cascarilla de café (<i>Coffea spp.</i>).....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caléndula officinalis.....	11
Figura 2. Cereza del café	16
Figura 3. Cascarilla de café	18
Figura 4. Estructura química cafeína.....	19
Figura 5. Longitud radicular	29
Figura 6. Altura de la planta.....	30
Figura 7. Número de hojas.....	30
Figura 8. Peso fresco aéreo.....	31
Figura 9. <i>Diámetro del tallo</i>	32

1. INTRODUCCIÓN

Calendula officinalis L. es una especie de la familia Asteraceae, conocida popularmente como caléndula, mejorana o maravilla de jardín, es una especie anual, de hasta 40 cm de altura, con hojas ovaladas y alargadas, cuyas inflorescencias pueden variar de amarillo claro a intensamente anaranjado, y se encuentran agrupadas en racimos simples o dobles (Lorenzi et al., 2022).

Por sus principios activos, la caléndula ocupa un lugar destacado dentro de las plantas utilizadas con el fin de convertir diversas afecciones, debido a que es una planta que contiene carotenoides y flavonoides que favorecen a un amplio espectro de acciones farmacológicas, entre las que sobresalen antibacteriana, antiinflamatoria, cicatrizante, antibiótica, fungicida y antioxidante (Montané et al., 2020). Gracias a su popularidad, es de interés la búsqueda en la mejora y productividad del cultivo en sistemas de producción, por ejemplo, mediante la implementación sustratos que favorezcan un buen desarrollo radicular y aéreo.

Así mismo, la generación de subproductos denominados residuos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos es una problemática a nivel nacional y mundial, debido a que en la mayoría de los casos no son procesados para su aprovechamiento o dispuestos adecuadamente, situación que contribuye al creciente deterioro ambiental (Vargas y Pérez, 2018). Los residuos agroindustriales cuentan con un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen su utilización como enmienda, bioestimulante o compostaje en el cultivo de diferentes especies.

A nivel mundial, el procesamiento del café genera grandes cantidades de subproductos, uno de ellos la cascarilla de café obtenida de la etapa de descascarillado en el procesamiento húmedo, la cual puede ser utilizada en cultivos. Estudios previos como el elaborado por Jiang et al., (2023) en el cultivo de café han descrito su uso como fertilizante desde un enfoque científico para el mejoramiento del sustrato, afectando positivamente las características del suelo, ayudando a frenar el deterioro ambiental al reincorporar residuos orgánicos y obteniendo resultados benéficos en cultivos especializados.

Se entiende entonces que la adición de residuos orgánicos al sustrato puede mejorar características fenotípicas de las plántulas al modificar la aireación, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes; sin embargo, efectos adversos pueden aparecer a concentraciones elevadas debido a compuestos como cafeína o taninos. Por ejemplo, Ansari (2020) describió que un exceso de cafeína podría tener efectos perjudiciales sobre el crecimiento de las plántulas, a pesar que en bajas cantidades existen mejoras significativas. Por lo anterior, es de gran interés el evaluar diferentes dosis de sustitución por cascarilla de café y su impacto en variables fisiológicas tempranas del cultivo.

2. ANTECEDENTES

2.1 *Calendula officinalis* L.

Diversos estudios han evaluado el efecto de biofertilizantes en el cultivo de caléndula, por ejemplo, Nada et al., (2024) realizaron un experimento en condiciones de invernadero utilizando fertilizante químico, fertilizante orgánico (estiércol de ave) y biofertilizantes. Las dosis minerales de fertilizantes fueron: N (20.6%), K (48%) aplicadas al suelo tres veces después del trasplante en intervalos de 15 días y P (15.5%) aplicado en una sola dosis durante la preparación del suelo.

Los resultados revelaron que la dosis recomendada de NPK, niveles moderados y altos de fertilizante orgánico, y los tratamientos con biofertilizantes lograron una superioridad significativa en todos los parámetros evaluados, demostrando una mejora en el crecimiento, la floración y la calidad fitoquímica de la planta con la posibilidad de prescindir de la fertilización química.

También fueron encontrados resultados significativos en el estudio realizado por Thakur et al., (2016) quienes estudiaron el efecto interactivo de biofertilizantes y sustratos orgánicos (fibra de coco, composta de paja de arroz, composta de hongos agotada y vermicomposta) sobre el crecimiento y floración de caléndula. Los mejores resultados en los parámetros fisiológicos evaluados se observaron en el tratamiento con fibra de coco y vermicomposta.

2.2 Bioestimulantes en el rendimiento agrícola

Otros trabajos han explorado el uso de bioestimulantes como una estrategia agrícola para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos, Torres-Rodriguez et al., (2025) evaluaron su efecto de sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de arroz, cuyos resultados demostraron que las variables altura de planta y número de macollos fueron beneficiadas con el tratamiento, gracias a que los bioestimulantes estimularon el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Alfonso et al., (2021) estudiaron Bioproductos como sustitutos parciales de la nutrición mineral del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) encontrando resultados positivos en la fase de trasplante, donde el mayor desarrollo y rendimiento del cultivo se logró con la combinación de bionutrientes con el 75 % de la fertilización mineral (NPK), lo que permitió disminuir el 25 % de la misma.

2.3 Cascarilla de café como sustrato

El uso agronómico de la cascarilla de café ha sido ampliamente documentado en diferentes cultivos, por ejemplo, Maxiselly et al., (2024) evaluaron el efecto de la aplicación de composta de cascarilla de café y biofertilizantes sobre el crecimiento de plantas inmaduras de quina. Los resultados demostraron el éxito en la mejora del crecimiento de la quina en su fase inmadura mediante la aplicación de residuos de cascarilla de café y biofertilizantes al mejorar el crecimiento de las plántulas

debido a los procesos de compostaje en los que se generaron abundantes nutrientes para las plantas a través del suelo, ayudando por ejemplo a la fijación de nitrógeno lo que propicia el crecimiento vegetativo de las plantas, como las hojas y los tallos.

Un estudio realizado por Mantovani et al., (2018) investigó el efecto de la cascarilla de café sobre las propiedades del suelo, el crecimiento inicial del cultivo y la acumulación de nutrientes en plantas de café. Dicho estudio encontró que la aplicación de cascarilla de café, ya sea en la superficie o incorporada al suelo, aumenta el contenido de potasio (K) y materia orgánica en el suelo, estimula el crecimiento inicial de las plantas de café y acelera la acumulación de nitrógeno (N) y potasio (K) en los brotes.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Propiedades y generalidades de la caléndula

La botánica ha sido la medicina más accesible y eficaz para pueblos y comunidades de México, quien ocupa el segundo lugar a nivel mundial en el número de plantas medicinales registradas con 4,500 plantas. Sin embargo, solo el cinco por ciento de las especies cuentan con estudios científicos según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022).

La *Calendula officinalis* L. es una planta anual herbácea (Figura 1), ramosa, que alcanza alturas de 35 a 40 centímetros, hojas sésiles, opuestas, enteras, ligeramente dentadas, de matiz verde claro por el haz y ligeramente vellosas por el envés. Sus flores grandes, solitarias, de color amarillo, están situadas en las axilas foliares y terminales. Florece entre invierno y primavera, dando lugar a un fruto seco, encorvado y característico. La planta completa despide un olor característico y desagradable (CONAFOR, 2010). En la Tabla 1 Se describe la clasificación taxonómica de la planta de caléndula.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Caléndula officinalis* L.

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Compositae
Género	Caléndula
Especie	C. officinalis

Tiene su origen en el sur de Europa meridional y del Oriente, se cultiva en climas fríos y templados desde la edad media como planta medicinal y por sus cualidades ornamentales gracias a las llamativas y continuas inflorescencias. Los pétalos de las flores producen un sabor picante de uso popular en ensaladas, quesos y sopas. (Fonnegra Gómez, 2024).

El nombre del género *Calendula* proviene de la palabra latina *kalendae* (calendas, primer día del mes) usada por los antiguos romanos para indicar la floración durante el año en una zona y dado debido a que la planta florece casi todo el año. El epíteto *officinalis* indica que estaba incluida en la lista de plantas medicinales (Fonnegra Gómez, 2024).



Figura 1. *Caléndula officinalis*

La caléndula posee propiedades antiinflamatorias, antisépticas, cicatrizantes y tranquilizadoras es también antiespasmódica, antibacteriana, fungicida y anti ulcerosa, además ha sido utilizada para la prevención y eliminación de estrías. En medicina popular se utiliza por su acción antibacteriana, fungicida y antiespasmódica (Pérez, 2019).

Las flores de caléndula presentan un amplio espectro de tipos de compuestos químicos, lo cual está en concordancia con la diversidad de acciones farmacológicas que presenta la planta. Entre los compuestos más investigados dado su interés farmacológico están los carotenoides y los flavonoides (Lastra et al., 1999).

Es así como la caléndula se destaca por sus propiedades medicinales, siendo de gran importancia entender su desarrollo temprano si se busca optimizar su cultivo y uso, ya que el crecimiento de las plantas se ve afectado por numerosos factores ambientales, como la intensidad de la luz, la concentración ambiental de CO₂, la disponibilidad de nutrientes y agua, así como las condiciones físicas del suelo (Jo, et al., 2024).

3.2 Bioestimulantes

Du Jardin (2015) definió a los bioestimulantes como "cualquier sustancia o microorganismo que, al aplicarse a las plantas, es capaz de mejorar la eficacia de estas en la absorción y asimilación de nutrientes y la tolerancia al estrés biótico o abiótico o de mejorar alguna de sus características agronómicas, independientemente del contenido de nutrientes de la sustancia"

Los bioestimulantes también pueden describirse al diferenciarlos de lo que no son; fertilizantes, pesticidas ni mejoradores del suelo, ya que a diferencia de estos, contienen sustancias y/o microorganismos que al aplicarse a las plantas o a la rizosfera (parte del suelo inmediata a las raíces vivas y que está bajo la directa influencia de estas), estimulan los procesos naturales para mejorar la absorción y la eficiencia de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad de los cultivos. Así mismo, carecen de acción directa contra las plagas (Lebastard, 2024).

Partiendo de tales definiciones, el uso de bioestimulantes podría promover el desarrollo de plantas diferentes tipos de estrés, con mejor capacidad para la captación de nutrientes, de agua y de secuestro de carbono (CO₂), convirtiéndose así herramientas muy útiles para el sector agrícola al promover un mejor rendimiento en los cultivos. De acuerdo a du Jardin, (2015) los bioestimulantes, de manera general, se pueden clasificar según su naturaleza o forma de obtención en:

- Ácidos húmicos y fúlvicos
- Compuestos que contienen nitrógeno
- Extractos de algas marinas y botánicos
- Quitina y otros biopolímeros
- Compuestos inorgánicos
- Hongos benéficos
- Bacterias benéficas

3.2.1 Cascarilla de café como compuesto con contenido de nitrógeno

El nitrógeno es uno de los macronutrientes más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que su disponibilidad en el suelo juega un papel crucial en la productividad agrícola y en la calidad de los cultivos. El nitrógeno en las plantas (así como en otros organismos vivos, incluyendo los seres humanos) es crucial en la producción de aminoácidos, que componen las proteínas de las células que construyen las células vegetales. Es esencial en el crecimiento de las plantas ya que es indispensable en múltiples reacciones bioquímicas implicadas fisiológicamente en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (Rao, 2009).

El uso de nitrógeno en suelos de cultivo es de especial interés debido a que su deficiencia puede reducir los rendimientos, causar amarillamiento de las hojas debido a la incapacidad de producir suficiente clorofila y un crecimiento reducido. Así mismo, la deficiencia de nitrógeno puede reducir los rendimientos, causar amarillamiento de las hojas debido a la incapacidad de producir suficiente clorofila y un crecimiento limitado (Orchardson, 2020).

El uso eficiente de las fuentes de nitrógeno en los cultivos es fundamental en la búsqueda de la optimización nutricional de la planta, la minimización del impacto ambiental y la maximización de los rendimientos agrícolas. Estudios en cultivos como el realizado sobre el maíz por Ortiz et al., (2025) han demostrado que la elección adecuada de la fuente de nitrógeno puede influir en la absorción, translocación y utilización de este nutriente por parte de las plantas, lo que a su vez afecta el crecimiento vegetativo, el desarrollo reproductivo y la acumulación de biomasa.

El auge en la agricultura intensiva produjo un agotamiento del contenido de nitrato en el suelo, lo que popularizó e incrementó la necesidad del uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Según Orchardson (2020) actualmente se producen a nivel mundial más de 100 millones de toneladas métricas de este producto cada año, y si bien en muchas regiones hay escasez de nitrógeno disponible para lograr la seguridad alimentaria y nutricional, en otras casi la mitad del nitrógeno fertilizante aplicado en la agricultura se filtra al medio ambiente, con consecuencias negativas que incluyen un aumento de los peligros ambientales, la degradación de la tierra y la contaminación de los recursos acuáticos.

Los alcaloides son una clase de metabolitos secundarios que comprenden grandes grupos de compuestos que contienen nitrógeno en las plantas y que desempeñan diversas funciones, como la defensa contra bacterias, insectos y hongos. La cafeína es un alcaloide purínico (esencial para la energía celular) presente de forma natural en más de 80 especies de plantas (Emanuil, 2022).

La cascarilla de café contiene restos de cafeína, la cual es un alcaloide nitrogenado y se ha demostrado que estos compuestos desempeñan importantes funciones bioestimulantes del crecimiento vegetal. Por ejemplo, Khursheed et al., (2009) realizaron un estudio del efecto de la cafeína en bajas concentraciones sobre el cultivo de plántulas de girasol (*Helianthus annuus L.*). Los resultados de dicho estudio demostraron un efecto regulador del crecimiento que aumento la altura, lo que se atribuye a la baja toxicidad provocada por las bajas concentraciones de cafeína.

3.3 Sustratos

García (2014) define a los sustratos como cualquier material sólido distinto de los suelos naturales, minerales u orgánicos, que, al colocarlo en un contenedor, puro o mezclado, sirve de soporte para el sistema radicular de la planta. En México, los sustratos más utilizados son el peat moss, musgo, aserrín, hojas secas, así como cortezas y otros materiales orgánicos los cuales pueden o no ser compostados antes de su implementación. La implementación de estos materiales busca el mejoramiento en el desarrollo de la plántula, así como de su sistema radicular, procurando un buen balance entre las propiedades de aireación, capacidad de retención de agua, aporte nutricional y competencia microbiana.

3.4 Peat Moss

Peat moss (género *Sphagnum*) es un grupo que incluye más de 300 especies de musgos pertenecientes a la división Bryophyta. Forman agrupaciones densas en entornos húmedos como estanques, pantanos, turberas, acantilados ácidos húmedos y orillas de lagos, y se distribuyen ampliamente desde regiones tropicales hasta subpolares (Kopp, 2025).

Se puede definir como un tipo de musgo esponjoso y de aspecto terroso, formado en humedales o lugares pantanosos, por la descomposición de los residuos vegetales, de poco peso, color pardo oscuro, formados por tallos y hojas pequeñas, delgadas, sin tejido vascular, con estructuras filamentosas que las sujetan, al crecer moldean masas de aspecto aterciopelado, formando capas sobre la tierra, las rocas, los troncos de los árboles, incluso en el agua (AgroCity, 2023).

Su origen proviene principalmente de la descomposición de los musgos y otros materiales vegetales, en una basta humedad y falta de oxígeno, cuyo resultado es la formación de un sustrato con amplia materia orgánica. Es común su mezcla con materiales comunes como: Vermiculita, Perlita, Arena, Composta, Turba de Coco, Corteza de Pino con el objetivo de mejorar la estructura del sustrato, y la aportación de nutrientes al cultivo que se desee propagar. Valencia (2024) describe el peat moss como un sustrato muy útil debido a sus diferentes ventajas:

- Mejora la estructura de los suelos: Ayuda a airear suelos compactados mejorando así la circulación de aire, drenaje y retención de agua.
- Retención de humedad: Tiene capacidad de retener hasta 20 veces su peso en agua, lo que ayuda a mantener una humedad constante en el suelo, beneficiando a las plantas durante periodos secos.
- Retención de nutrientes: Puede retener nutrientes como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), liberándolos gradualmente a medida que las plantas los necesitan. También puede retener algunos micronutrientes como el hierro (Fe) y el zinc (Zn).
- Ajuste de pH del suelo: Su pH es ácido, usualmente entre 3.5 y 6. Esta acidez natural lo hace óptimo para su uso en acidificación de suelos alcalinos.
- Mejora la germinación: Su estructura y otras características mencionadas anteriormente favorecen la germinación de semillas y el desarrollo de las plántulas.

3.5 Café

Coffea arabica L. (café arábica) pertenece al género *Coffea*, dentro de la familia *Rubiaceae*. El café arábica se cultiva principalmente en regiones tropicales y

subtropicales, y es un cultivo comercial importante en más de 60 países de América del Sur y Central, Asia y África, con una superficie sembrada de más de 11 millones de hectáreas (Waller, 2007).

La planta del café es procedente de África, de las montañas de Abisinia en Etiopía, pero son los árabes quienes popularizan la práctica de tomar café, motivados por la prohibición islámica de tomar alcohol. Son entonces los árabes los primeros en extraer los granos, tostarlos, molerlos y mezclarlos con agua caliente en una infusión considerada religiosa en sus inicios, después estimulante y se daba a los guerreros para luchar en las batallas (Cortijo, 2008). La Tabla 2 describe la clasificación taxonómica de la planta de café.

Tabla 2. Clasificación taxonómica *Coffea arábica* L.

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Gentianales
Familia	Rubiaceae
Género	Coffea
Especie	C. arabica

Coffea arábica es una planta perenne que puede presentarse como arbusto o pequeño árbol, alcanzando hasta 5 metros de altura si no se poda. Presenta ramificaciones que nacen cerca de la base y hojas simples, opuestas o alternas, de color verde oscuro, brillantes, con forma elíptica, de 7 a 20 cm de largo por 3.5 a 7 cm de ancho, ápice acuminado y con 7 a 12 pares de nervaduras laterales bien marcadas. Estas hojas son relativamente rígidas y pueden persistir en la planta por alrededor de tres años (Orwa, et al., 2009).

Sus flores son blancas, fragantes y en forma de estrella, dispuestas en grupos densos de 2 a 9 o más, sin pedúnculos o muy cortos si están presentes, distribuidas a lo largo de las ramas reproductivas en las axilas de las hojas. Cada flor mide de 12 a 18 mm de largo y presenta un cáliz de cinco lóbulos, cinco pétalos y cinco estambres insertados en el tubo de la corola (Orwa, et al., 2009).

El ovario da una drupa conocida comúnmente por el nombre de cereza (Figura 2), la cual es ovoidea, subglobosa, roja si está madura, de 10 a 15 mm de diámetro por 16 a 18 de largo. Está constituida por un exocarpio (piel) coloreado, un mesocarpio carnoso y blanco-amarillento (pulpa) y dos semillas unidas por caras planas. Cuando uno de estos dos óvulos aborta el otro se desarrolla dando una semilla ovoide a la que se le conoce comercialmente con el nombre de “caracolillo”. Cada grano está protegido por dos envolturas; la primera, el endocarpio, es delgada y de textura esclerosa; la segunda el perispermo, es una membrana muy fina (película) más o menos adherida al grano (Aboites, 2020).

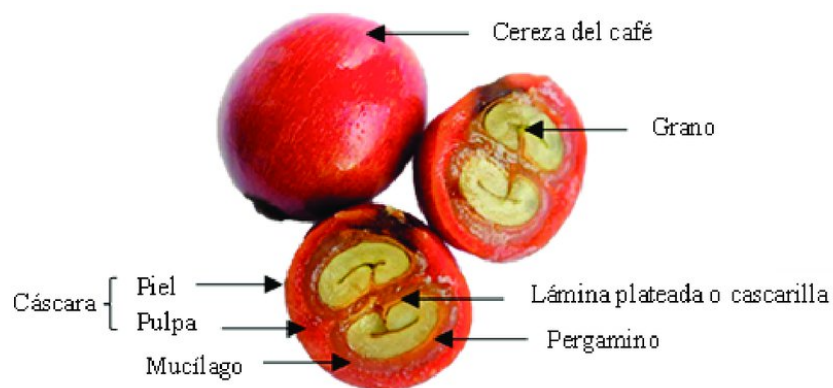


Figura 2. *Cereza del café*

El café es uno de los cultivos más importantes y populares a nivel mundial. Brasil, Colombia y Vietnam encabezan la lista de países productores situándose México en el 11º lugar gracias a su ubicación dentro de la franja del café que beneficia a sus variados climas y geografías, propiciando las condiciones ideales para el cultivo de diferentes tipos de café (SADER, 2018). Según Martínez (2022), en México, 15 estados se dedican a la producción de café. Chiapas aporta el 41 por ciento del volumen nacional, seguido por Veracruz (24 por ciento) y Puebla (15.3 por ciento), en dichos estados la producción de café es una de las actividades económicas principales.

La cadena productiva del café constituye uno de los rubros más importantes dentro del sector agroindustrial de nuestro país por el impacto social y ambiental que genera aunado al económico (Figuerola et al., 2015). Por ejemplo, en el periodo 2017-2021, la producción mexicana de café cereza fue en promedio de 899 mil toneladas. Se considera un cultivo estratégico ya que en su producción se emplea a más de 500 mil productores de 15 entidades federativas y 480 municipios según datos de la (SADER, 2022).

Dependiendo del método de procesamiento del grano de café, se generan varios tipos de residuos sólidos, entre ellos la pulpa y la cascarilla, los cuales representan más del 45% del peso de la cereza del café. La pulpa de café es el primer subproducto que se obtiene durante el procesamiento de las bayas y representa el 43,58% del peso húmedo total del fruto fresco, mientras que la cáscara del café, representa el 4.2% del peso fresco del fruto (Esquivel y Jiménez, 2012).

3.6 Cascarilla de café

La cascarilla de café se obtiene durante el proceso de beneficiado, del fruto del café aproximadamente el 19% termina siendo grano oro, el resto constituye residuos potencialmente contaminantes al medio ambiente si no se procesan adecuadamente, según Mendoza (2003) de una tonelada de café cereza se obtienen de cuarenta a cuarenta y cinco kilogramos de cascarilla o pajilla.

En México, cerca del 90 por ciento de la producción de cafés se beneficia a través de la vía húmeda, conocida como lavados, mientras que el restante se hace sólo mediante la vía seca o también llamada naturales. Mendoza (2003) describió ambos procesos, que a continuación se explicarán brevemente.

3.6.1 Beneficio seco

Se distingue por ser la forma tradicional de procesamiento de café cereza, a diferencia del beneficio húmedo, prescinde de actividades como el despulpado y lavado. La cereza cosechada se deshidrata a través de la exposición al sol en patios de cemento, acomodando el grano en capas de 2 a 5 centímetros de grosor por espacio de 10 a 15 días, dependiendo de la madurez del fruto y las condiciones climáticas. En este proceso se obtiene el café conocido como bola o capulín. Posteriormente con el objetivo de obtener el café verde u oro natural con la calidad y presentación que demanda el mercado, se lleva a cabo un beneficio seco que comprende las siguientes etapas:

- a) Prelimpia: se lleva a cabo la separación de las impurezas de la cereza seca, mediante la utilización de máquinas vibratorias y mallas.
- b) Morteado: etapa donde se elimina la película externa del café (cascarilla), ayudándose de máquinas que operan por fricción o desgarramiento.
- c) Clasificación: se realiza la selección por tamaño, forma y densidad a partir de aire y vibración. También se clasifican por color utilizando en la mayoría de los casos, equipos electrónicos.
- d) Envasado y almacenado: El café verde también llamado oro se envasa en sacos de yute de 69 kilogramos netos, para almacenarse acomodados en estibas de no más de 25 sacos, montados en tarimas de madera. Los almacenes deben mantener una humedad relativa del 55 al 60 por ciento con temperaturas de entre 22 y 30 grados centígrados.

El resultado obtenido después de estas etapas es lo que comúnmente se llama "cafés naturales", caracterizados por un sabor más astringente gracias al tipo de fermentación. Durante mucho tiempo se consideró a este tipo de cafés como de menor calidad, sin embargo, si el proceso ha sido adecuado, se pueden obtener cafés de calidades reconocidas a nivel internacional. En México, los principales estados productores de café natural son: Puebla, Veracruz, Chiapas y Guerrero.

3.6.2 Beneficio húmedo

Este proceso se realiza principalmente en instalaciones semi-industriales e industriales pertenecientes a fincas u organizaciones de productores, y en menor proporción en instalaciones de tipo familiar. Incluye esencialmente las siguientes etapas:

- e) Recepción y clasificación: En donde se recibe el fruto de café cereza maduro ya sea en tolvas o tanques con agua, donde el café vano se separa por densidad e impurezas.
- f) Despulpado: En esta etapa se quita la pulpa que cubre los frutos maduros, utilizando equipos mecánicos conocidos como despulpadoras.
- g) Remoción de mucílago y lavado: Se lleva a cabo la remoción del mucílago o capa viscosa que envuelve al grano mediante proceso de fermentación en el que el grano húmedo permanece en tanques o tolvas entre 12 a 24 horas según las condiciones climáticas del lugar. Posteriormente se lava, utilizando máquinas que remueven mecánicamente el mucílago en forma continua, lavándolo con agua a presión.
- h) Oreado y secado: gracias al oreado se elimina el exceso de agua en la superficie del grano y con el secado se obtiene el pergamino seco, con una humedad del 12 por ciento. Ambas etapas se realizan generalmente en una combinación de patios de secado y secadoras mecánicas.
- i) Descascarillado: En esta última etapa, que es la de nuestro interés particular, el café obtenido en los procesos previos de oreado y secado es llevado a las trilladoras o descascaradoras gestionadas por empresas y organizaciones que cuentan con instalaciones integrales y modernas. Del beneficio húmedo se obtienen los “café lavados” los cuales representan el principal tipo de café que produce y exporta nuestro país.



Figura 3. *Cascarilla de café*

La cascarilla de café (Figura 3) se compone de la parte exterior del grano de café obtenida en la etapa del procesamiento de descascarillado. Es rica en carbohidratos, fibra y minerales. (Esquivel et al., 2011).

3.6.3 Cafeína

Se han encontrado niveles importantes de cafeína en estos residuos del café. Según Koshiro et al., (2006) el contenido de cafeína es de dos a diez veces menor en la parte externa que en la semilla, dependiendo de la etapa de desarrollo del grano y el genotipo.

La cafeína (Figura 4) es un alcaloide natural presente en varias plantas que pertenece al grupo de las metilxantinas, que también incluye la teofilina (en el té verde y té negro) y la teobromina (en el chocolate) (Silva et al., 2023).

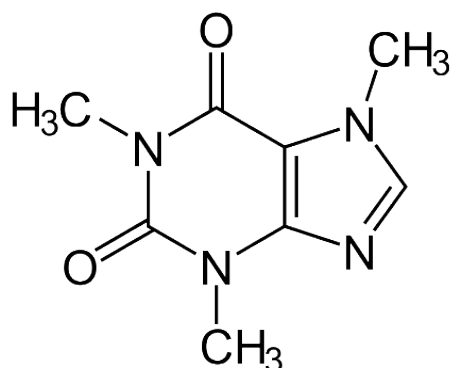


Figura 4. Estructura química cafeína

Existe evidencia amplia que demuestra como la mayoría de los alcaloides poseen acción fisiológica intensa en los animales incluso a bajas dosis, es reconocida por sus efectos estimulantes en seres humanos. En plantas se han estudiado los efectos de la cafeína encontrando claros efectos bioestimulantes en dosis bajas, por ejemplo, Pierattini et al. (2016) investigaron el uso de cafeína como solución nutritiva en plántulas de álamo blanco (*Populus alba* L.) in vitro, donde analizaron parámetros fisiológicos de crecimiento como la altura del tallo y el número de hojas, encontrando efectos significativos sin síntomas de necrosis o clorosis, resultados atribuidos a que la cafeína puede inducir la activación de las rutas metabólicas de las plántulas.

3.6.4 Otros usos de la cascarilla

3.6.4.1 Silo

Se ha demostrado que los diferentes subproductos obtenidos en el procesamiento del café (como la cascarilla y la pulpa) tienen alto contenido en potasio y otros nutrientes minerales, lo que ha sido de interés para diferentes estudios sobre su aplicación como fertilizantes orgánicos. Por ejemplo, Couto Filho et al. (2007) prepararon una remienda de residuos a partir de una mezcla de cáscaras, pulpa de mango y cascarilla en diferentes porcentajes. Concluyeron, que la cascarilla puede ser añadida hasta en un 30%, lo que mejora el perfil fermentativo para obtener un ensilado de buena calidad. En otro reporte realizado por el mismo grupo de investigación, encontraron que, al mezclar cáscaras, semilla de maracuyá y cascarilla de café a un 25% mejoraron el contenido de proteína en la remienda.

3.6.4.2 Forrajes

También se han descrito beneficios al utilizar la cascarilla de café como forraje gracias a que tiene un alto contenido de materia orgánica y nutrientes. No obstante, la cascarilla también presenta compuestos como cafeína, taninos y polifenoles que, Según Oliveira et al., (2015) gracias a la presencia de estos compuestos, residuos

generados en el procesamiento del café, como la cascarilla, son considerados de naturaleza “tóxica” lo que afirma el hecho de que contribuyen no solo a la problemática ambiental, sino que también limita su uso como alimento para animales. Los resultados descritos por los autores sugieren no superar el 10% de cascarilla de café para no obtener factores antinutricionales.

3.6.4.3 Como aditivo en la industria alimentaria

En nuestro país, la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 define como aditivo alimentario a “cualquier sustancia permitida que, sin tener propiedades nutritivas, se incluya en la formulación de los productos y que actúe como estabilizante, conservador o modificador de sus características organolépticas, para favorecer ya sea su estabilidad, conservación, apariencia o aceptabilidad.”

Para el caso de la cascarilla de café, se ha estudiado su uso como potencial fuente de antocianinas para la elaboración de colorantes alimenticios de origen natural, ya que la conciencia sobre los efectos nocivos que pueden provocar el uso de colorantes sintéticos crece cada vez más, teniendo por ejemplo en nuestro país, nuevas legislaciones implementadas en el etiquetado de alimentos.

Se ha experimentado con el aprovechamiento de colorantes naturales obtenidos en el procesamiento del café, encontrando antocianinas en la parte externa del grano de café que aún puede ser aprovechada. Prata et al., (2007) llevaron a cabo la extracción de antocianinas monoméricas y poliméricas en cinco variedades de cerezas de café, donde el contenido promedio de antocianinas monoméricas en las cascarillas de café fue de 19.2 mg de pigmento por cada 100 g de cascarilla. Debido a las enormes cantidades de café que se producen anualmente en el país de origen de los autores (Brasil, el mayor productor a nivel mundial) se encontró gran potencial como fuente económica de antocianinas en la cascarilla de café.

4. JUSTIFICACIÓN

La cascarilla de café es un residuo agroindustrial obtenido en el proceso de aprovechamiento del grano en la industria cafetalera. El tema de los residuos agroindustriales es particularmente relevante debido a que pueden representar hasta el 90% del volumen procesado. En México, la generación anual de biomasa a partir de estos residuos se registra en billones de toneladas, lo que pone en evidencia el potencial de aprovechamiento de estos subproductos.

Cuando los residuos agroindustriales son dispuestos sobre el suelo un tratamiento adecuado, debido a su descomposición lenta y la presencia de agentes infecciosos pueden representar riesgos tanto para la salud humana y animal como para los recursos naturales, como el suelo, las aguas subterráneas y el aire.

La cascarilla de café, al ser un residuo orgánico resulta útil como fuente de nutrientes, mismos que pueden funcionar como estimulantes en el crecimiento de cultivos. Según Novita et al., (2018) la cáscara del café contiene 1.9% de nitrógeno (N), 0.3% de fósforo (P) y 3.6% de potasio (K). Algunos de los beneficios de estos nutrientes son: el nitrógeno contribuye al crecimiento vegetativo de las plantas (color verde y desarrollo de las hojas), el fósforo al crecimiento de las raíces y la división de los tejidos celulares vegetales, y el potasio al transporte de enzimas y minerales, así como a la continuidad de la fotosíntesis (Thamrin, et al., 2020). En este sentido, resulta de interés explorar su efecto en cultivos de valor económico y social como es la caléndula *Calendula officinalis* L.) cuya producción es popular a nivel nacional gracias a sus aplicaciones medicinales, culinarias y ornamentales. Este cultivo florece todos los meses del año, incluso en invierno y requiere poco mantenimiento, por lo que resulta de interés su producción. Pérez (2019) encontró que dos de las propiedades que se han encontrado en las flores de caléndula son antiinflamatoria y regeneradora, gracias a la importante concentración de flavonoides y fenoles, en el uso tópico de ayuda en el tratamiento de manchas y cicatrices. Así mismo, también se puede utilizar en infusiones, fomentos, aceites, ungüentos entre otros.

Por lo tanto, la implementación de este residuo en el cultivo de caléndula, busca reducir el uso de sustratos comerciales, que suelen ser más costosos o menos sostenibles, obteniendo iguales o mejores resultados en el desarrollo fisiológico en etapa temprana de la planta. Así mismo, el aprovechamiento de la cascarilla de café como sustrato en cultivos tiene el objetivo de beneficiar tanto a las comunidades cercanas a las plantas cafetaleras como a los productores locales al reducir su impacto ambiental y darle un valor agregado, transformando este residuo potencialmente contaminante en una herramienta útil para la agricultura.

5. HIPÓTESIS

La sustitución parcial del sustrato por distintos porcentajes de cascarilla de café tendrá un efecto bioestimulante en *Calendula officinalis* L., mejorando su desarrollo fisiológico temprano.

6. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la sustitución parcial del sustrato por distintos porcentajes de cascarilla de café en el desarrollo fisiológico temprano de *Calendula officinalis* L., con el fin de determinar su potencial bioestimulante.

6.1 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades bromatológicas de la cascarilla de café mediante un análisis químico proximal, para conocer su composición en proteína, fibra, cenizas y extracto etéreo.
- Establecer el cultivo como modelo experimental para implementar la cascarilla de café como sustrato en distintos porcentajes para conocer las propiedades bioestimulantes y su efecto en el crecimiento y desarrollo de la planta en etapa temprana.
- Analizar las variables fisiológicas obtenidas como altura, número de hojas, longitud de raíces, diámetro del tallo y peso fresco para evaluar el efecto de la cascarilla de café en el crecimiento y desarrollo temprano de la planta.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

La cascarilla de café fue adquirida gracias a la donación proveniente de La Sociedad de Producción Rural “Sierra Cafetalera de La Sombra” perteneciente al municipio de Chiconquiaco en el estado de Veracruz, el cual se localiza geográficamente en los paralelos 19° 42' y 19° 49' de latitud norte; los meridianos 96° 39' y 96° 52' de longitud oeste (INGEGI, 2010). Fue trasladada hasta la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, dentro del Instituto de Ciencias Agropecuarias localizado en las instalaciones de Ciudad Universitaria campus Tulancingo.

7.1 Determinación de la composición química de la cascarilla de café

Los análisis bromatológicos se realizaron en el Laboratorio multidisciplinario del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH).

7.1.1 Determinación de humedad

La determinación de humedad se llevó a cabo según el método descrito por la Asociación Oficial de Químicos Analistas (AOAC, 1990) según su procedimiento número 964.22. Se pesaron aproximadamente 5 gramos de muestra en una balanza de precisión dentro de cápsulas de aluminio previamente codificadas y pesadas, posteriormente las muestras fueron desecadas a 105°C en una estufa de aire forzado, hasta alcanzar un peso constante, aproximadamente después de 4 horas dentro de la estufa. La pérdida de peso se consideró como el contenido de humedad, siendo el residuo desecado el contenido de materia seca, expresado en porcentaje.

7.1.2 Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas se utilizó la técnica y procedimiento 923.03 de la AOAC (1990) la cual se basa en la incineración completa de la materia orgánica de la muestra en un horno mufla a 525°C, dicha acción busca obtener únicamente el residuo de materia orgánica.

Se pesaron aproximadamente 2 gramos de muestra sobre crisoles de porcelana previamente pesados, las muestras se carbonizaron lentamente para posteriormente ser llevadas dentro de una mufla a 500°C durante 4 horas hasta la obtención de cenizas completamente blancas, sin restos de materia orgánica. El contenido de cenizas se expresó en porcentaje.

7.1.3 Determinación de proteína

Se utilizó el método Kjeldahl 955.04 (AOAC, 1995) para determinar el contenido de proteína en la cascarilla. Dicho método describe un procedimiento estándar para determinar el nitrógeno total. Implica tres pasos principales: digestión, destilación y titulación. La digestión convierte el nitrógeno orgánico en amoníaco, que luego se destila y se cuantifica mediante titulación. Un gramo de muestra fue pesado sobre

un papel libre de nitrógeno el cual fue introducido dentro de un matraz Kjeldahl al que se le añadieron 5 gramos de muestra digestora y 15 mililitros de ácido sulfúrico concentrado. En esta etapa las muestras se tornan de color verde claro, a partir de ese punto se cuenta una hora para finalizar la digestión para proceder a la destilación, en donde las muestras se dejaron enfriar para posteriormente agregar 20 ml de agua destilada. Se utilizó una solución de ácido bórico al 2% con 2-3 gotas de rojo de metilo. Al finalizar la destilación, la muestra fue titulada utilizando una solución de 0.1 M de ácido sulfúrico. El contenido de proteína fue expresado en porcentaje.

7.1.4 Determinación del extracto etéreo

El contenido de grasa se determinó mediante el procedimiento 920.39C descrito por la AOAC (1990). Se utilizaron las muestras previamente desecadas obtenidas en el proceso de determinación de humedad, se pesaron y posteriormente fueron colocadas dentro de cartuchos de celulosa en el extractor de grasa con ayuda de pinzas para no interferir en los datos. Después se pesaron los vasos previamente desecados, se colocaron dentro del extractor en donde se adicionaron 50 ml de éter a cada una de las muestras, las cuales se mantuvieron dentro del extractor durante 4 horas, pasado ese tiempo el éter se evaporó en un desecador y la grasa extraída quedó depositada en el vaso de aluminio, finalmente se dejaron enfriar los vasos para poder pesar el residuo de grasa en una balanza de precisión, la cual se expresó en porcentaje.

7.1.5 Determinación de fibra cruda

La determinación de fibra se realizó siguiendo el procedimiento que describe la NOM-F-90-S-1978, la cual se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra, en donde se obtiene un residuo de fibra cruda. Se pesaron 3 gramos de muestra desengrasada y posteriormente se colocó cada una en un vaso Berzelius al cual se le agregaron 200 ml de ácido sulfúrico hirviendo al 0.255N, los vasos se calentaron en el determinador de fibra, posteriormente se tomó el tiempo a partir de que comenzaron a hervir, una vez pasados 30 minutos, la muestra se filtró y se lavó hasta obtener pH neutro. Finalmente, se le adicionaron 200 ml de NaOH al 0.313N, se dejó hervir por 30 min y el residuo se filtró con 25 ml de ácido sulfúrico, 150ml de agua y 50ml de alcohol. Las muestras se dejaron secar en la estufa a 130°C durante 2 horas y para ser calcinadas en una mufla a 600°C por 30 minutos. El contenido total de fibra cruda se expresó porcentualmente.

7.2 Cultivo de plantas de caléndula

El experimento se llevó a cabo en el municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo. El tipo de clima que presenta es semiseco, templado y subhúmedo, con lluvias en verano, con una temperatura anual promedio que oscila entre 14. 8° C y 15.7 °C. El cultivo de las plántulas se llevó a cabo entre los meses de junio y octubre del presente año.

Las plántulas se obtuvieron a partir de la siembra directa de semillas en charolas de germinación, las semillas que se utilizaron fueron provenientes de la marca “HappyFlower” empresa mexicana dedicada a la jardinería, adquiridas por Internet.

7.2.1 Siembra en almácigo

Para la germinación de las semillas de caléndula se utilizó un almácigo de 72 celdas, llenando cada una de ellas con el sustrato peat moss previamente humedecido. Posteriormente, se colocó una semilla de caléndula en cada celda. Cada semilla se sembró superficialmente (0.5 cm) y se cubrió con sustrato. La germinación se llevó a cabo en un espacio al aire libre, sin luz solar directa a temperatura ambiente de entre 16-23 °C en los meses de junio-julio del año 2025.

7.2.2 Trasplante

El trasplante se llevó a cabo al mismo tiempo para todos los tratamientos, este fue realizado cuando las plántulas alcanzaron 10 cm de altura en el almácigo y presentaron por lo menos dos hojas verdaderas. El trasplante se realizó colocando cada plántula en una bolsa macetera también conocida como bolsa agrícola o bolsa para cultivo de plástico negro de aproximadamente 25 cm. Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones o unidades experimentales (bolsas de plástico) con 2 kg de sustrato total (con sustitución parcial de cascarilla de café para los tratamientos 1, 2 y 3) en peso.

7.3 Descripción de los tratamientos y sus porcentajes de sustitución de sustrato por cascarilla de café

Se realizó un estudio sobre plántulas de caléndula, utilizando cinco muestras para cada uno de los cuatro tratamientos establecidos. La Tabla 3 describe cada tratamiento y su composición con respecto a la sustitución del sustrato por cascarilla de café.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos experimentales

Tratamiento	% cascarilla de café	% sustrato base (peat moss)
T0 (Testigo)	0%	100%
T5	5%	95%
T10	10%	90%
T15	15%	85%

Para la medición y comprobación de los porcentajes, se utilizó como referencia la capacidad de las bolsas maceteras de 2 L, sustituyendo el peso correspondiente de sustrato peat moss por cascarilla de café previamente molida.

7.4 Riego y cuidados del cultivo

El riego se llevó a cabo tres veces por semana mediante el uso de un pulverizador manual de con una preparación de 1 L de solución nutritiva compuesta de

macronutrientes: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Azufre (S), Magnesio (Mg) al 25%. El porcentaje fue aumentando en cada etapa, subiendo hasta el 50% cuando la planta llegó a la etapa juvenil o de crecimiento vegetativo. Posterior al trasplante, añadido a la solución con macronutrientes, se utilizó abono Triple 17 para regar las plántulas, la dilución siguió el mismo porcentaje. En la Tabla 4 se describieron las etapas de crecimiento junto a los porcentajes utilizados en la solución nutritiva.

Tabla 4. Porcentaje de solución nutritiva según la etapa de crecimiento.

Etapa de crecimiento	Macronutrientes	Abono Triple 17
Siembra en almácigo	25%	-
Trasplante	25%	25%
Crecimiento vegetativo	50%	50%

7.5 Medición de las variables de respuesta

Las variables de crecimiento de las plantas de caléndula en etapa temprana se midieron siguiendo la metodología propuesta por Díaz et al., (2020).

7.5.1 Altura

Se midió y se registró después de 12 semanas de la siembra; tomando en cuenta la distancia desde la base del tallo hasta la hoja superior plenamente extendida con ayuda de un flexómetro. El resultado se registró en milímetros.

7.5.2 Diámetro del tallo

La medición del diámetro del tallo principal se tomó en la zona basal de cada planta, después de 12 semanas desde la siembra. La determinación se realizó con la ayuda de un vernier, registrando el valor en milímetros.

7.5.3 Número de hojas

Se cuantificó y registró el número de hojas completamente desarrolladas presentes en cada planta transcurridas doce semanas después de la siembra.

7.5.4 Peso fresco aéreo

Para la determinación de la variable referente al peso fresco de la planta (tallo y hojas) se utilizó una báscula de precisión de acero inoxidable marca Rhino, los resultados fueron registrados en gramos. Se realizó al final del periodo de evaluación (12 semanas después de la siembra)

7.5.5 Longitud radicular

Las raíces se lavaron previamente con agua corriente para eliminar restos de sustrato y cascarilla, posteriormente se colocaron sobre una superficie plana para que se secaran a temperatura ambiente y finalmente tomar la medición de su máxima extensión en sentido vertical con ayuda de un flexómetro. Se determinó en la etapa final del experimento (12 semanas después de la siembra)

7.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico completamente al azar con una comparación de medias de Tukey cuando se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Análisis bromatológico

Tabla 5. Análisis proximal de la cascarilla de café (*Coffea spp.*)

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)
Cascarilla de café (<i>Coffea spp.</i>)	10.3451	1.01	2.52	0.89	63.85

Se determinaron los principales componentes bromatológicos de la cascarilla de café utilizada en el experimento. Los resultados se presentan en la Tabla 5. El contenido de humedad fue de 10.34%, mientras que el contenido de cenizas alcanzó 1.01%. El análisis mostró un contenido en proteínas del 2.52%, así como una proporción de grasa (extracto etéreo) de 0.89% y un alto contenido de fibra cruda de 63.95%.

El contenido de humedad encontrado tras el análisis proximal de 10.34% sugiere que la cascarilla de café es un material relativamente seco, lo que favorece su almacenamiento y evita problemas de fermentación o desarrollo microbiano en el sustrato, lo cual tiene efecto directo según Newby et al., (2018) ya que el contenido de humedad en el sustrato afecta significativamente la salud y el crecimiento de las plantas.

Estos valores coinciden con los reportados por Manals-Cutiño et al., (2018), quienes hallaron un contenido de humedad de 10.1% en cascarilla de café proveniente de Las Coloradas en el municipio Guamá, Santiago de Cuba y fue obtenida a partir del método seco. En cambio, al comparar los resultados de fibra cruda obtenidos por De La Cruz et al., (2015), la cascarilla de café presenta un contenido de fibra cruda considerablemente alto (27.49% y 63.85% respectivamente) lo cual sugiere que podría aportar una estructura física favorable al sustrato, mejorando la aireación y la retención de agua.

El contenido de proteína resultó significativamente más bajo comparado con los datos encontrados por Lago et al., (2001) quienes investigaron la composición proximal y el perfil de aminoácidos de los residuos de café recolectados de tres productores de café instantáneo obteniendo un contenido de proteína entre el 6,7 %. La diferencia probablemente radica en el tipo de extracción y obtención del residuo, ya que el mismo estudio observó que a diferentes métodos de extracción (procesamiento húmedo y seco) se reduce significativamente el contenido de proteína, a la vez que aumenta la fibra cruda y el contenido total de grasa en los restos de café analizados.

Los resultados obtenidos indican que la cascarilla de café evaluada podría tener un aporte más bien moderado de nitrógeno orgánico. En este sentido, Koga et al.,

(2001) han señalado que un mayor contenido de proteínas en el suelo puede mejorar la absorción de nitrógeno orgánico por los cultivos, con diferencias significativas según la especie, teniendo efectos interesantes en el crecimiento en comparación con el uso de fertilizantes químicos.

El análisis bromatológico mostró un contenido de cenizas del 1.01%. Este valor es bajo en comparación con los resultados reportados por Demiral et al., (2011) quienes estudiaron los compuestos químicos del bagazo de uva obteniendo un 4.7% lo cual sugiere una baja carga mineral en la cascarilla de café.

8.2 Variables de respuesta

8.2.1 Longitud de raíces

Para la longitud de raíces, se encontró que cualquier dosis de cascarilla generó raíces significativamente más largas que el T0, como se puede observar en la Figura 5. El efecto sugiere mejoras físicas del sustrato, como mejor aireación, más que un efecto nutricional. Según Sun et al., (2022) un sustrato con mejor capacidad de aireación afecta positivamente la estructura del sistema radicular y sus actividades fisiológicas, lo cual influye en la absorción y utilización de nutrientes. En caléndula, esto podría traducirse en mejor calidad de cepellón y crecimiento post-trasplante. Estos resultados son similares a los propuestos por Xiao et al., (2015) quienes encontraron que la aireación de la zona radicular promovió el crecimiento de raíces finas en árboles jóvenes de durazno, lo que a su vez estimuló el crecimiento de la planta.

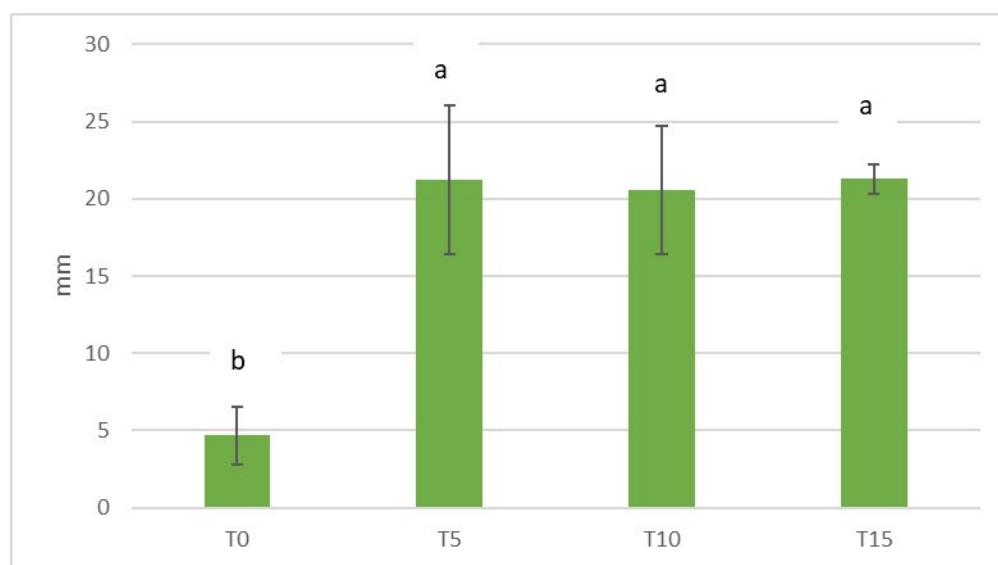


Figura 5. Longitud radicular

Los resultados se expresan en medias desviación estándar. Cuando existieron diferencias significativas se utilizó la prueba de comparación de medias Tukey.

8.2.2 Altura y número de hojas

Como se indica en la Figura 6 y Figura 7, no se encontraron diferencias significativas en cada tratamiento para los parámetros de altura y número de hojas. Aunque existe tendencia a disminuir con dosis altas, por lo que el impacto funcional en la fase de plántula parece neutral/modesto

Estos resultados coinciden con Khursheed, et al., (2009) quienes encontraron que la cafeína en dosis bajas tiene un efecto estimulante sobre el crecimiento y el rendimiento en plantas de girasol (*Helianthus annuus L.*) mientras que las dosis más altas tienen un efecto inhibitor, reduciendo parámetros de crecimiento y rendimiento. Alkhatib et al., (2016) explican que existe una fuerte relación entre la concentración de cafeína y la reducción del crecimiento de la planta debido la inhibición de la división y elongación celular, la actividad enzimática, así como diversas funciones fotosintéticas. Sin embargo, estas alteraciones dependen de la concentración, la duración del tratamiento, la especie de planta y/o la edad de la planta. Aunque la cafeína puede resultar tóxica en altas concentraciones y causar demora en el crecimiento, se ha reportado que concentraciones adecuadas de cafeína pueden activar el sistema de defensa propio de la planta, confiriendo capacidad para enfrentar atacantes externos (Kim et al., 2010).

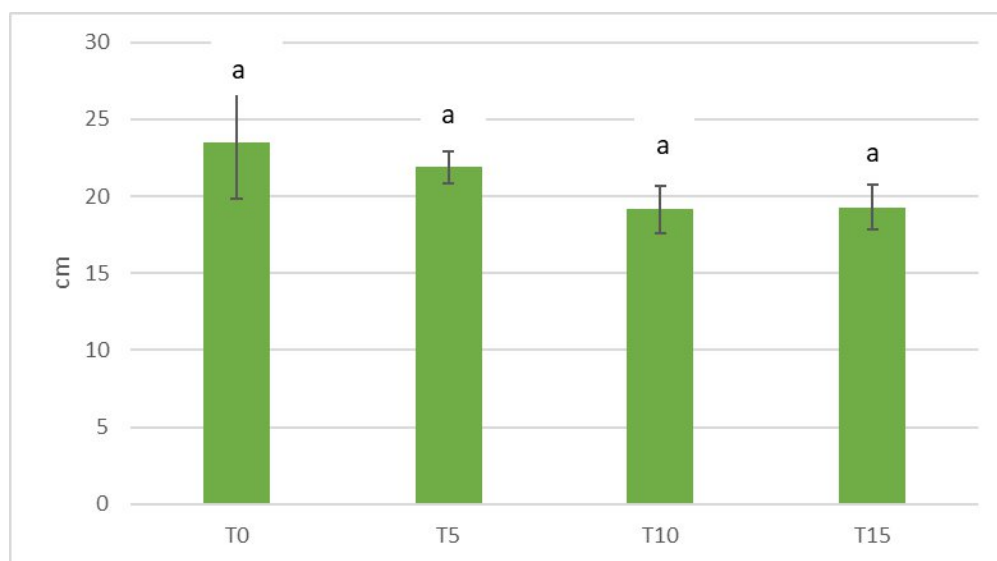


Figura 6. Altura de la planta

Los resultados se expresan en medias desviación estándar. Cuando existieron diferencias significativas se utilizó la prueba de comparación de medias Tukey.

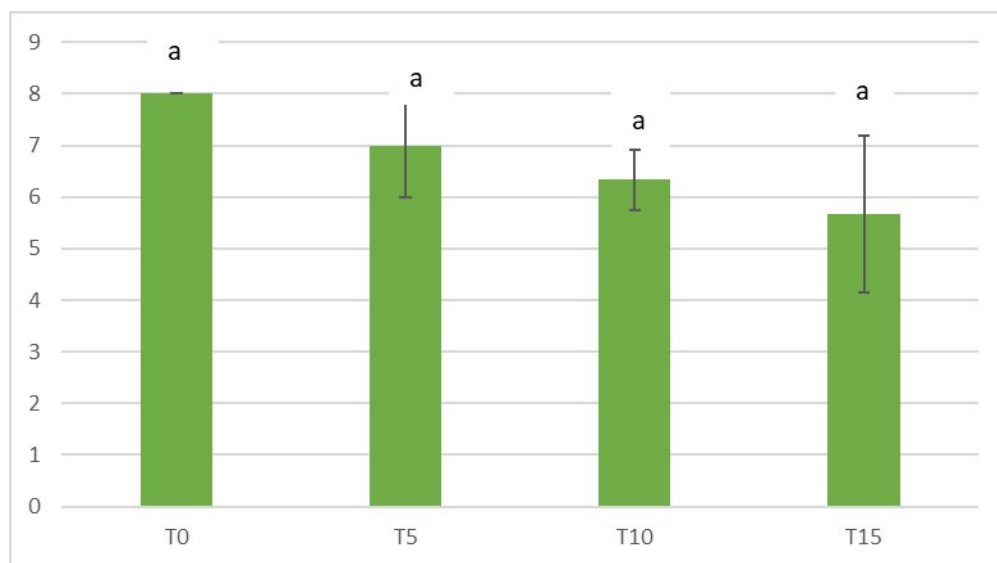


Figura 7. Número de hojas

Los resultados se expresan en medias desviación estándar. Cuando existieron diferencias significativas se utilizó la prueba de comparación de medias Tukey.

8.2.3 Peso fresco aéreo

Como se evidencia en la Figura 8, el T5 obtuvo diferencias significativas en comparación con el resto de tratamientos. Esto indica que una dosis baja aprovecha la mejora física del sustrato sin incurrir en costos fisiológicos; a partir de 10–15 % de fitotoxicidad leve que frenan el crecimiento óptimo de la planta, afectando finalmente la biomasa. Un estudio previo realizado por Mohanpuria y Yadav (2009) evidenció que la cafeína tiene un efecto inhibitor sobre el crecimiento de las plántulas, lo cual podría deberse al aceleramiento del envejecimiento celular (senescencia) como resultado de fallas en la producción de enzimas esenciales en el proceso de fotosíntesis como es la enzima Rubisco.

Los resultados encontrados por Matsumiya y Kubo (2011) quienes estudiaron y describieron los efectos en el crecimiento vegetal de bioestimulantes a base de péptidos recuperados del bagazo de soya son similares, lo cual demuestra que la utilización de bioestimulantes orgánicos puede favorecer las características morfológicas de las raíces, lo que podría mejorar la absorción de nutrientes y la eficiencia en su utilización, con un efecto beneficioso en la producción de biomasa.

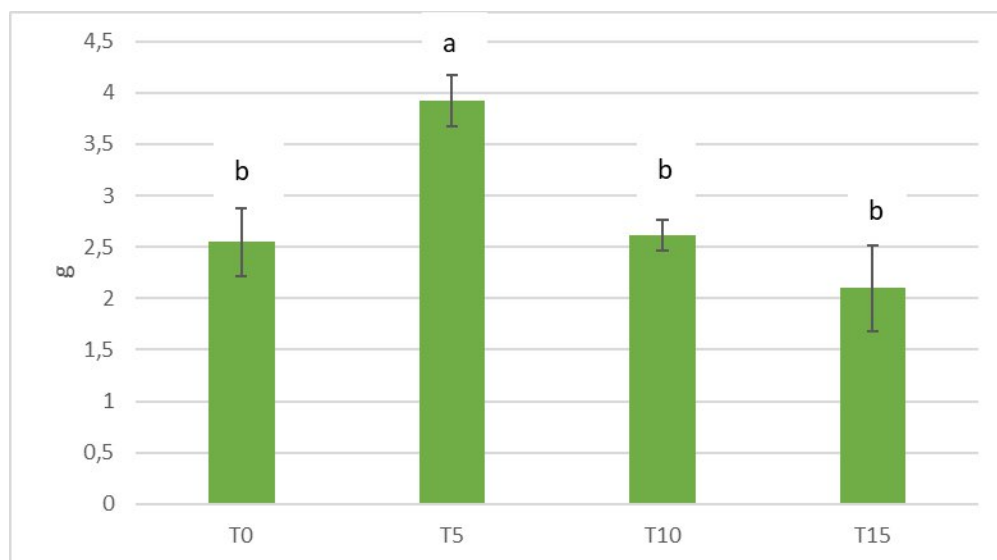


Figura 8. *Peso fresco aéreo*

Los resultados se expresan en medias desviación estándar. Cuando existieron diferencias significativas se utilizó la prueba de comparación de medias Tukey.

8.2.4 Diámetro del tallo

La altura y el diámetro del tallo son características importantes para el rendimiento de las plántulas ya que se relacionan con su capacidad para resistir el derribo (Farias et al., 2007). Como se muestra en la Figura 9, los resultados del experimento demostraron que al sustituir el 5% del sustrato por cascarilla de café se obtienen diferencias significativas en el grosor del tallo, lo cual representa mejor sostén y conducción, esto podría ser debido a que según Chrysargyris et al., (2020), el uso de residuos de café en el sustrato afecta la disponibilidad de minerales en las plantas, lo cual beneficia la acumulación de niveles de nitrógeno, potasio, fósforo y cobre.

Según Uchôa et al., (2020) el uso de compuestos orgánicos puede afectar significativamente la altura y el diámetro del tallo debido a la presencia de sustancias húmicas, las cuales promueven una mayor absorción de agua y nutrientes, lo que conduce a un mejor desarrollo de la planta.

Los resultados son similares a los propuestos por Simao et al., (2020) quienes concluyeron que utilizar residuos de café pueden ser una alternativa viable para su uso como fertilizante orgánico en la agricultura, ya que encontraron que al implementarlo en el cultivo de maíz el desarrollo de la planta fue significativamente superior en comparación con el testigo, dando como consecuencia mayor productividad del cultivo.

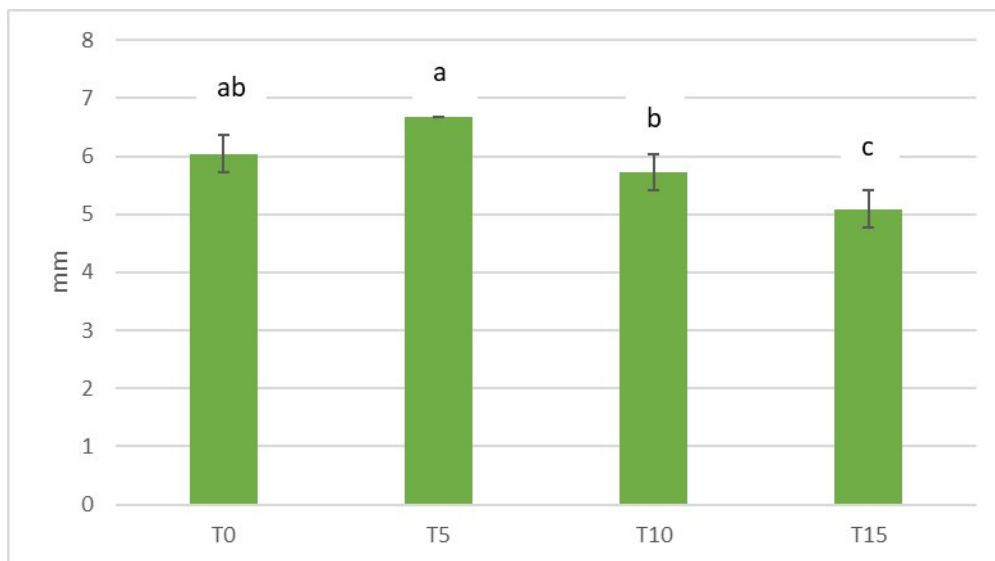


Figura 9. Diámetro del tallo

Los resultados se expresan en medias desviación estándar. Cuando existieron diferencias significativas se utilizó la prueba de comparación de medias Tukey.

9. CONCLUSIONES

La incorporación parcial de cascarilla de café al sustrato mejoró el sistema radicular en el cultivo de *Calendula officinalis* en comparación con el testigo generando mejoras físicas en la aireación y estructura del sustrato.

La sustitución al 5% (T5) produjo un mayor diámetro de tallo, lo que sugiere mejor sostén y vigor en plántulas cuyo efecto fue observable en el incremento de biomasa aérea sin afectar la altura ni el número de hojas. Como resultado, se puede observar que la aplicación de cascarilla de café al promovió parámetros de crecimiento temprano del cultivo lo que indica que promovió un mayor equilibrio en el desarrollo de las plántulas.

Dosis altas (≥ 10 –15 %) conservan raíces largas, pero penalizan variables de crecimiento como altura y número de hojas, por lo que solo recomienda emplear bajas proporciones de cascarilla (p. ej. 5%) como sustituto parcial del peat moss.

En conclusión, se encontraron efectos benéficos de la cascarilla de café en bajas dosis en el desarrollo radicular y ciertos indicadores de vigor en el desarrollo temprano de la planta de Caléndula, lo que demuestra la funcionalidad en la recuperación de un residuo agroindustrial. Sin embargo, el presente estudio se limitó a evaluar el cultivo en una etapa de crecimiento por lo que se recomiendan futuras investigaciones donde se exploren diferentes dosis, someter la cascarilla de café a procesos previos a la sustitución del sustrato como lavado o compostaje y demostrar el efecto en el desarrollo de las plántulas hasta que alcancen etapa de maduración completa con inflorescencias para ampliar los usos y potencializar el aprovechamiento del subproducto.

REFERENCIAS

- Aboites, M. C. (2020). *Producción y comercialización de café en el libre mercado: los pequeños productores en La Sombra, municipio de Chiconquiaco, Veracruz*. [Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo].
- AgroCity. (2023). *Peat moss: sustrato para propagación vegetativa*.
- Alfonso, E. T., Padrón, J. R., Espinosa, R. R., Rodríguez, A. F., & Sosa, Y. C. (2021). *Bioproductos como sustitutos parciales de la nutrición mineral del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.)*. *Acta Agronomica*, 70(3). <https://doi.org/10.15446/acag.v70n3.86626>
- Alkhatib, R., Alkhatib, B., Alquraan, N., Aleitan, L., Abdo, N., Muhaidat, R. (2016). *Impact of exogenous caffeine on morphological, biochemical, and ultrastructural characteristics of Nicotiana tabacum*. *Biologia Plantarum*.
- Ansari, A. M. (2020). *The effect of caffeine and nicotine on different plant growth*. *International Journal of Advance Research, Ideas and Inovations in Technology (IJARIIT)*.
- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Plantas medicinales de la Farmacia Viviente del Cefofo: usos terapéuticos tradicionales y dosificación*. Gobierno de México. https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Plantas_medicinales_de_la_farmacia_viviente-Conafor.pdf
- Cortijo, J. D. (2008). *El mundo del café*. Homatic.
- Couto Fihlo, C. C. C., Silva Fihlo, J.C., Neiva Júnior, A. P., Freitas, R.T.F., Souza, R. M., Nunes, J. A. R. (2007) *Qualidade da silagem de resíduo de manga com diferentes aditivos*. *Ciênc Agrotecnol*.
- Chrysargyris, A., Antoniou, O., Xylia, P., Petropoulos, S., Tzortzakis, N. (2020). *The use of spent coffee grounds in growing media for the production of Brassica seedlings in nurseries*. *Environ Sci Pollut Res*.
- De La Cruz, N., Arroyave, T., Felipe, A., Cárdenas, C., Fernando, L., & Giraldo, G. (2015). *Análisis y modelamiento de la granulometría en la cáscara del café (Coffea arabica L.)* (Vol. 10, Issue 2).
- Del Castillo, M. D. (2017). *Applications of recovered compounds in food products*. *Handbook of Coffe Processing By-Products*.
- Demiral, I., & Ayan, E. A. (2011). *Pyrolysis of grape bagasse: Effect of pyrolysis conditions on the product yields and characterization of the liquid product*. *Bioresource Technology*, 102(4), 3946–3951. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.077>

- Díaz, G., Rodríguez, G., Montana, L., Miranda, T., Basso, C., Arcia, M. (2020) *Efecto de la aplicación de bioestimulantes y Trichoderma sobre el crecimiento en plántulas de maracuyá (Passiflora edulis Sims) en Vivero*. BIOAGRO.
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: *Definition, concept, main categories and regulation*. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 196, pp. 3–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Emanuil, N., Akram, M. S., Ali, S., Majrashi, A., Iqbal, M., El-Esawi, M. A., Ditta, A., Alharby, H. F. (2022). *Exogenous Caffeine Application Diminishes Cadmium Toxicity by Modulating Physio-Biochemical Attributes and Improving the Growth of Spinach (Spinacia oleracea L.)*.
- Esquivel, P., Jiménez, V. M. *Functional properties of coffee and coffee by-products*. Food Research International.
- European Biostimulants Industry Council (2013). *Economic overview of the biostimulants sector in Europe*.
- Farias Júnior, J. A., Cuhna, M. C. L., Farias, S. G. G., Menezes Junior, J. C. (2007). *Crescimento inicial de mudas de turco sob diferentes tipos de recipientes e níveis de luminosidade*. AGRÁRIA.
- Figueroa-Hernández, P.-S., Godínez-Montoya, F. Y., Figueroa, L. E., Pérez, F., Godínez. (2015). *Importancia de la comercialización del café en México*.
- Fonnegra Gómez, R. (2024). *Plantas medicinales y otros recursos naturales aprobados en Colombia con fines terapéuticos* [Libro electrónico]. Universidad de Antioquia. <https://books.google.com.mx/books?id=Uh31EAAQBAJ>
- García, C., Jaime, G., & Félix Herrán, A. (2014). *Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales*.
- Grupo de Investigación Carbón Biomasa. (2012). *Cascarilla de café* [Fotografía]. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010*. INEGI.
- Iriondo-DeHond, Amaia; Aparicio, Natalia; Fernández-Gómez, Beatriz; Guisantes-Batan, Eduardo; Velázquez, Francisco; Blanch, Gracia; del Castillo, María. (2019). *Validation of coffee by-products as novel food ingredients* [Fotografía]. Innovative Food Science & Emerging Technologies.
- Jiang, Z., Lou, Y., Liu, X., Sun, W., Wang, H., Liang, J., Guo, J., Li, N., Yang, Q. (2023). *Combined Application of Coffee Husk Compost and Inorganic Fertilizer to Improve the Soil Ecological Environment and Photosynthetic Characteristics of Arabica Coffee*. Agronomy.

- Jo, J. W., Yang, S. W., Lee, G. W., Kim, J. H., Kim, Y. J., Choi, Y., Kim, K. J., Lee, H. S., Bang, S. W., Kim, H. J. (2024). *Effect of a Directional Electromagnetic Field on the Early Stages of Plant (Raphanus sativus and Saccharum officinarum) Growth*. Horticulturae. 10. 973. [10.3390/horticulturae10090973](https://doi.org/10.3390/horticulturae10090973).
- Journal, I. (2016). *Interactive Effect of Biofertilizers and Organic Potting Media on Growth and Flowering of Calendula (Calendula officinalis Linn.)*. In Ecology (Vol. 43, Issue 1).
- Khursheed, T., Ansari, M. Y. K., Shahab, D. (2009). *Studies on the effect of caffeine on growth and yield parameters in Helianthus annuus L. variety Modern*. Biology and Medicine.
- Kim, Y., Choi, Y. E., Sano, H. (2010). *Plant vaccination: Stimulation of defense system by caffeine production in planta*. Plant Signaling & Behavior.
- Koga, N., Yamagata, M., Matsumoto, S., & Ae, N. (2001). *Evidence for direct organic nitrogen uptake by plants using specific tracer proteins* (pp. 212–213). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X_102
- Kopp, O. C. (2025). *Peat*. Encyclopaedia Britannica.
- Koshiro, Y., Zheng, X., Wang, M., Nagai, C., Ashihara, H. (2006). *Changes in content and biosynthetic activity of caffeine and trigonelline during growth and ripening of Coffea arabica and Coffea canephora fruits*. Plant Science.
- Lago, R. C. A., Antoniassi, R., & de Freitas, S. C. (2001). *Composição centesimal e de aminoácidos de café verde, torrado e de borra de café solúvel*.
- Lastra Valdés, H., & García, R. P. (1999). *Artículos de Revisión CALENDULA OFFICINALIS*. In *Rev Cubana Farm* (Vol. 33, Issue 3).
- Lebastard, E. (2024). *Plant biostimulants in a European dimension*. European Biostimulants Industry Council.
- Lorenzi, H., Cavalleiro, A. S., Souza, V. C., Brochini, V. (2022). *Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras*. Jardim Botânico Plantarum
- Manals-Cutiño, E. M., Salas-Tort, D., & Penedo-Medina, M. (2018). *Characterization of vegetable biomass coffee husk*. http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria18/CT_L_IE%20La_cascarilla_de_cafe_como_mater.pdf
- Mantovani, J. R., De Paula, D. W., Rezende, T. T., Da Silva, A. B., Andrade, P. C. C., & Landgraf, P. R. C. (2018). *Early growth of coffee plants and soil fertility properties response to coffee husk application*. Coffee Science, 13(3), 356–364. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i3.1466>
- Martínez, A. (2022). *¿Cuáles son los estados cafetaleros de México?* Café Ge.

- Maxiselly, Y., Sa'adah, D. R., Ariyanti, M., Prayoga, M. K., & Khomaeni, H. S. (2024). *Growth improvement of immature quinine by applying coffee husk compost and biofertilizer*. *Kultivasi*, 23(2). <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v23i2.54560>
- Matsumiya, Y., Kubo, M. (2011). *Soybean Peptide: Novel Plant Growth Promoting Peptide from Soybean*. *Soybean and Nutrition*.
- Mohanpuria, P., Yadav, S. K. (2009). *Retardation in seedling growth and induction of early senescence in plants upon caffeine exposure is related to its negative effect on Rubisco*. *Photosynthetica*.
- Montané Ojeda, C., Arias Ramos, D., Chil Núñez, I. (2020). *Cuantificación de fenoles y flavonoides totales en un extractoblando de flores de Calendula officinalis Linn*. *Orange Journal*.
- Mendoza Olmos, I. (2003). *Estudio de la cascarilla del café como material mejorador de sustratos hortícolas*. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"
- Nada, R. S., Soliman, M. N. A., Zarad, M. M., Sheta, M. H., Ullah, S., Abdel-Gawad, A. I. M., Ghoneim, A. H., & Elateeq, A. A. (2024). *Effect of Organic Fertilizer and Plant Growth-Promoting Microbes on Growth, Flowering, and Oleanolic Acid Content in Calendula officinalis under Greenhouse Conditions*. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(3), 815–831. <https://doi.org/10.21608/ejss.2024.275096.1736>
- NEUROtiker. (2014). *Estructura química de la cafeína* [Fotografía]. Wikimedia Commons.
- Newby, A. F., Atland, J. F., Ling, P. P., Jourdan, P. S., Kessler, J. R., Carpenter, M. (2018). *Integrating Moisture Characteristic Curves with Gravimetric Data in the Management of Substrate Moisture Content for Annual Vinca*. *HortScience*. 53(8):1197–1202. 2018. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13030-18>
- Novita, E., Fathurrohman, A., Andiananta Pradana, H., Kalimantan, J., Tegalboto, K., Pengelolaan Sumber Daya Air Pertanian, M., & Jember Jln Kalimantan, U. (2018). *PEMANFAATAN KOMPOS BLOK LIMBAH KULIT KOPI SEBAGAI MEDIA TANAM (the Utilization of Coffee Pulp and Coffee Husk Compost Block as Growing Media)* (Vol. 2, Issue 2).
- Oleg R. (2020). *Caléndula del Mediterráneo* [Fotografía]. ArgentiNat. <https://www.argentinat.org/photos/81638564>
- Oliveira, L. S., Franca, A. S. (2015). *An Overview of the Potential Uses for Coffe Husks*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Orchardson, E. (2020) *El nitrógeno en la agricultura*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., Anthony, S. (2009) *Agroforestree Database: a tree reference and selection guide*.

- Ortiz Acosta, O., Ortiz Martinez, E., dos Santos, L., Villalba, P. (2025) *Comportamiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) con diferentes fuentes de nutrientes a base de Nitrógeno*. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research (BJAER).
- Pérez Sosa, F. (2019). *Elaboración de una crema con posible efecto cicatrizante a partir de Caléndula officinalis* [Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco].
- Pierattini, E. C., Francini, A., Raffaelli, A., Sebastiani, L. (2016). *Degradation of exogenous caffeine by Populus alba and its effects on endogenous caffeine metabolism*. Environ Sci Pollut Res.
- Prata, E. R. B. A., Oliveira, L. S. (2006). *Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins*. ScienceDirect.
- Rao, I. M. (2009). *Essential Plant Nutrients and their Functions*. International Center of Tropical Agriculture.
- Secretaría de Economía / Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, el Servicio Nacional de Sanidad. (2010). NOM-051-SCFI/SSA1-2010: *Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria*.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2018). *México, onceavo productor mundial de café*. Gobierno de México.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *México, segundo lugar mundial en registro de plantas medicinales*. Gobierno de México.
- Silva Capuci, A. P., Borges Silva, A. C., Amancio Malagoni, R., Júlio Ribeiro, E., Delalibera Finzer, J. R. (2013). *Extraction and Crystallization of Caffeine from Coffe Husks (Coffea Arabica Var. Catuai)* Waste and Biomass Valorization.
- Simão, G., Demétrio, G. B., de Paula, G. F., Ladeira, D. C., Matsumoto, L. S. (2020). *Influence of spent coffee grounds on soil microbiological attributes and maize crop*. Research, Society and Development.
- Sun, M., Liu, X., Shi, K., Peng, F., Xiao, Y. (2022) *Effects of Root Zone Aeration on Soil Microbes Species in a Peach Tree Rhizosphere and Root Growth*. Microorganisms <https://doi.org/10.3390/microorganisms10101879>
- Thamrin, S., Junaedi, & Irmayana. (2020). *Respon pemberian pupuk NPK terhadap pertumbuhan bibit kopi robusta (Coffee robusta)*. J. Agroplantae.
- Thakur, Rohini & Dubey, Rajesh & Kukal, Surinder & Kapoor, Shammi. (2016). *Interactive effect of biofertilizers and organic potting media on growth and flowering of Calendula (Calendula officinalis Linn.)*. Indian Journal of Ecology. 43. 245-248.
- Torres-Rodriguez, J. A., Herrada, M. R., Reyes-Pérez, J. J., Marín Cuevas, C. V., Rivero, E. G., & Rueda-Puente, E. O. (2025). *Organic biostimulants as an ecological*

alternative on the development and yield of rice cultivation (Oryza sativa L.). Bioagro, 37(2), 189–198. <https://doi.org/10.51372/bioagro372.5>

Uchôa Rodrigues, M., Gonçalves Bastos, R. L., Araújo Viana, T. V., Moreira de Azevedo, B., Azevedo, J., Rodrigues Silvestre Silvestre, F. E., Siqueira Macedo, D. X., Castro dos Santos, V. (2020). *Development of broad bean cultivars under the influence of different biofertilizers.* Brazilian Journal of Development (BJD).

Valencia, M. (2024) *Peat Moss ¿Qué es? Origen, Usos y Variedades. Guia detallada.* Hydro Environment.

Vargas Corredor, Y., Pérez Péres, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. Revista Facultad de Ciencias Básicas.

Waller JM, Bigger M, Hillocks RA. *Coffee Pests, Diseases and Their Management.* Nosworthy Way Oxfordshire, UK: CABI; 2007. Coffee as a crop and commodity; pp. 1–17.

Xiao, Y., Peng, F., Dang, Z., Jiang, X., Zhang, J., Zhang, Y., Shu, H. (2015) *Influence of rhizosphere ventilation on soil nutrient status, root architecture and the growth of young peach trees.* Soil Science and Plant Nutrition.