



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA PARA LA
PRODUCCIÓN SUSTENTABLE**

TESIS

**Caracterización fenológica y evaluación del crecimiento de
árnica (*Heterotheca inuloides* Cass.) proveniente de
diferentes sitios de colecta**

Para Obtener El Título De:

Ingeniera Agrónoma para la Producción Sustentable

PRESENTA

Naydelin Fernández Bautista

Directora:

Dra. Iridiam Hernández Soto

Codirector:

Rene Velázquez Jiménez

Asesores

Dr. Benito Flores Chávez

Dra. Xóchitl de Jesús Martínez

M. en C. Aracely Hernández Pérez

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hgo., México., febrero de 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales

Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 17 de marzo de 2026

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 a la pasante de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía Para La Producción Sustentable, **Naydelin Fernández Bautista**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Caracterización fenológica y evaluación del crecimiento de árnica (*Heterotheca inuloides* Cass.) proveniente de diferentes sitios de colecta”**, 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:

PRESIDENTE	Dr. Benito Flores Chávez
SECRETARIO	M. en C. Aracely Hernández Pérez
VOCAL 1	Dra. Iridiam Hernández Soto
VOCAL 2	Dr. René Velázquez Jiménez
SUPLENTE	Dra. Xochitl de Jesús Martínez

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

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos
Coordinador de la Licenciatura en
Ingeniería en Agronomía Para La Producción Sustentable



“Amor, Orden y Progreso”



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago
Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42073
profe_5566@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Agradecimientos

Con profunda estima y reconocimiento, extiendo mi más sincera gratitud a mi directora de tesis la Dra. Iridiam Hernández Soto y codirector Rene Velázquez Jiménez.

Su dedicación y guía han sido pilares fundamentales en la dirección y enriquecimiento de esta investigación. Mi gratitud se extiende a mis asesores de tesis el Dr. Benito Flores Chávez, el Dra. Xóchilt de Jesús Martínez y la M. en C Aracely Hernández Pérez

Agradezco a todos los profesores que me compartieron sus conocimientos a lo largo de la universidad, todo mi agradecimiento, respeto y admiración.

A mis compañeros de universidad, quienes en un momento fueron desconocidos, a lo largo del tiempo pasaron a ser familia, esos amigos que te ayudan y motivan a continuar y no rendirte. Mis queridos amigos, Jovanha, Quetzaly, Emmanuel, Verónica, Dariana, Berenice, Jorge, gracias por todo lo vivido en la universidad, siempre estarán presentes en mi memoria. Agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de esta tesis

Por ultimo y no menos importante, quiero agradecer a mis padres, gracias a ellos pude cumplir mi sueño de ser Ing. Agrónomo, gracias por todo el apoyo, todo lo que soy hoy en día es gracias a ustedes, estaré eternamente agradecido con ustedes.

También me gustaría hacer mención y reconocer la calidad educativa de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, cada alumno egresado es una persona sumamente capaz de poder con todo, me siento muy feliz y con la frente en alto puedo decir que soy orgullosamente garza.

Dedicatoria

Dedico con gran aprecio este trabajo a mis padres, quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi papá Juan Fernández Rangel, que día a día me recuerda la importancia de la superación y el éxito, y por su puesto su apoyo. A mi mamá Rocío Bautista Pérez, por estar a mi lado, por apoyarme y aconsejarme. Gracias por su apoyo; sin ello, no estaría dando este importante paso.

A mi fiel compañera de cuatro patas, quien con su cariño y compañía hicieron más llevadero este camino. A nombre de Paloma, por estar siempre a mi lado durante las tardes y noches largas de estudio brindándome paz y alegría, por recordarme la importancia de la paciencia y la ternura. Gracias por ser parte de mi vida y por acompañarme en cada paso de este logro. A mi prima Daniela Illescas Fernández, por ayudarme desde el primer día de mi trabajo. Gracias por todo. A mi prima Karen Illescas Fernández por su apoyo y consejos.

A mis amigas, Jovanha Sayuri Vázquez Juárez y Quetzaly Vázquez Cruz, que con su amistad me dieron fuerza y motivación, les comparto este logro como parte de nuestra historia compartida.

Contenido

Resumen.....	1
1. Introducción	2
2. Antecedentes	3
3. Marco Teórico	5
3.1. Taxonomía, distribución y ecología de <i>Heterotheca inuloides</i> Cass.....	5
3.2. Estudio in vitro donde se emplea el árnica <i>Heterotheca inuloides</i> Cass	6
3.3. Compuestos bioactivos de árnica.....	7
3.4. Métodos de propagación de especies nativas y silvestres	10
3.5. Ciclo fenológico de las plantas: fundamentos y aplicaciones	14
3.5.1. Factores ambientales que influyen en el desarrollo fenológico	16
3.5.2. Métodos de registro y monitoreo fenológico	17
4. Importancia del conocimiento fenológico en la agricultura.....	18
4.1 Planificación agronómica y aprovechamiento óptimo de recursos	18
4.2 Relación con el rendimiento, calidad y adaptabilidad del cultivo	19
4.3 Aplicaciones en el manejo agronómico y fitosanitario.....	19
5. Potencial agronómico de <i>Heterotheca inuloides</i> Cass	19
6. Justificación	20
7. Hipótesis	21
8. Objetivo general	21
8.1 Objetivos específicos.....	21
9. Material y métodos.....	21
9.1. Área de estudio.....	21
9.2. Recolecta	22
9.3. Propagación.....	23
9.4. Mantenimiento de las plantas	24
9.5. Trasplante y fertilización.....	24
9.6. Parámetros agronómicos.....	25
9.7. Análisis estadísticos	25
9.7. Monitoreo de plagas.....	26
9.8. Encuesta	26
10. Resultados.....	27

10.1. Germinación	27
10.2. Comportamiento del árnica de los diferentes puntos de colecta.	28
10.3. Monitoreo de plagas	30
10.4. Encuesta	31
10.4.1. Conocimiento etnobotánico	31
10.4.2. Aspectos agrícolas y propagación	32
10.4.3. Percepción y relevancia del árnica	33
10.4.4. Preparación y utilización del árnica	34
10.4.3. Conservación y propagación	34
11. Discusión	34
12. Conclusión	37
13. Referencias	38

Índice de figuras

Figura 1. Heterotheca inuloides Cass. (Propia).....	5
Figura 2. Distribución de Heterotheca inuloides (Sombra Argüelles, 2015).	6
Figura 3. Principales compuestos Sesquiterpenos presente en las flores en Heterotheca inuloides Cass (Rodríguez Chávez, 2015).	8
Figura 4. Monoterpenos en Heterotheca inuloides Cass (Salazar Cervantes, 2016).	9
Figura 5. Algunos flavonoides encontrados en Heterotheca inuloides Cass (Salazar Cervantes, 2016).	10
Figura 6. Otros compuestos encontrados en Heterotheca inuloides Cass (Salazar Cervantes, 2016).	10
Figura 7. Viabilidad de semillas en embriones de Herotheca inuloides Cass con el ensayo de tetrazolio, A) viables, B) no viables (Maldonado Velasco, 2017).	12
Figura 8. Proceso de germinación de las semillas (Schwartz, 2013).	14
Figura 9. Flor de árnica (CONABIO, 2009).	15
Figura 10. Aquenios (semilla y fruto) de las flores de árnica (propia).	15
Figura 11. La senescencia presentándose en las hojas (SAG, 2023).	16
Figura 12. El ciclo de desarrollo de plantas mono y dicotiledóneas dividido en estadios de desarrollo principales y secundarios (Uwe Meier, 2018).	18
Figura 13. Mapa del área de estudio (INEGI, 2025).	22
Figura 14. Puntos donde se realizó la colecta de semillas (conabiorodr, 2025).	22
Figura 15. A) Árnica en camino de terracería; B) Árnica a orilla de carretera; C) Recolección de semilla; D) Medición de altura de la planta de árnica; E) Semilla guardada e identificada en bolsas de papel.	23
Figura 16. A) Flor seca y aquenios de árnica; B) Medición de la semilla (ancho y largo); C) Medición de peso de la semilla; D) Preparación de la charola; E) Identificación y siembra de cada punto de colecta en charola.	24
Figura 17. A) Plántula de árnica; B) árnica trasplantada en bolsas.	25
Figura 18. Encuesta sobre el conocimiento del árnica.	26

Figura 19. A) Días promedio de germinación; B) Número de semillas germinadas; C) Porcentaje de germinación. A, B, C, D, E Y F, son los sitios de colecta de semillas de árnica. Las barras representan la desviación estándar. Letras a, b, c, d; sobre las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ($p < 0.05$).	27
Figura 20. A) Altura de la planta; B) Diámetro del tallo; C) Número de hojas; D) Longitud de la raíz; E) Peso fresco de la raíz; F) Peso fresco de las hojas; G) Peso seco de la raíz; H) Peso seco aéreo. A, B, C, D, E y F son los sitios de muestreo de los que se recolectaron las semillas de árnica. Las barras representan la desviación estándar. Letras a, b, c, d; sobre las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ($p < 0.05$).....	29
Figura 21. Lugar de residencia de los encuestados.	31
Figura 22. Usos del árnica.	32
Figura 23. Gráficas de: A) formas de colecta del árnica, B) temporadas de presencia del árnica, C) forma de propagación del árnica, D) lugares donde se ha visto crecer el árnica. 33	
Figura 24. Factores que dificultan el cultivo del árnica.	34

Índice de tablas

Tabla 1. Estudios previos de propagación de especies silvestres.	3
Tabla 2. Tipos de test para evaluar la viabilidad de las semillas.	11
Tabla 3. Los métodos pregerminativos más comunes para romper la latencia de las semillas.....	13
Tabla 4. Registro de datos de los puntos de colecta.	23
Tabla 5. Presencia de insectos en el cultivo de árnica.	30

Resumen

El árnica (*Heterotheca inuloides* Cass.) es una planta medicinal de amplia importancia en la medicina tradicional mexicana por sus propiedades antiinflamatorias, analgésicas y cicatrizantes, lo que ha incrementado su demanda y resalta la necesidad de generar información científica que sustente su manejo, conservación y posible domesticación; en este contexto, el objetivo del presente estudio fue realizar la caracterización fenológica y la evaluación del crecimiento de *H. inuloides* proveniente de seis sitios de colecta en el municipio de Huayacocotla, Veracruz, bajo condiciones de campo. Se evaluaron indicadores de germinación y crecimiento vegetal, incluyendo el porcentaje de germinación, la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas, la longitud de la raíz, el peso fresco aéreo, el peso fresco radicular, el peso seco aéreo y el peso seco radicular. Se utilizaron 120 semillas (20 por sitio de colecta), que fueron trasplantadas a bolsas de polietileno a los 52 días de la siembra, con cuatro réplicas por sitio. Los resultados mostraron que los sitios A y E presentaron el mayor porcentaje de germinación (100%), destacando el sitio A por registrar el mayor número de hojas (44), el mayor peso fresco radicular (4.25 g) y el menor tiempo de germinación (10 días), mientras que el sitio E presentó la mayor longitud de raíz (34.30 cm). El sitio F mostró los valores más altos en diámetro del tallo (4.13 mm), peso fresco aéreo (8.30 g) y peso seco aéreo (1.53 g), y el sitio D alcanzó la mayor altura de planta (10.23 cm); en contraste, los valores más bajos se observaron en el sitio B, con una germinación del 5% y reducidos parámetros de crecimiento, así como en el sitio C, que presentó los menores pesos secos aéreo y radicular (0.15 g). Durante el ensayo se registraron ataques de insectos. De manera complementaria, se aplicó una encuesta para documentar el conocimiento tradicional sobre los usos medicinales del árnica y su obtención. De los encuestados, un 56.6% proveniente de la zona rural; el 98.4% afirma identificar o conocer la planta; un 46.7% la utiliza ya procesada (farmacéuticamente); el 91% adquirió conocimiento por medio de familiares; un 45.1% conoce a alguien que cultiva el árnica y recolecta árnica el 46.7% menciona no saber en qué época del año está más presente la planta; un 36.9% conoce su propagación mediante la siembra de la semillas; el 85.2% considera que el árnica tiene un valor importante en la medicinal por sus propiedades terapéuticas; un 54.1 está dispuestos a comprar el árnica cultivada; finalmente un 64.8% no tiene conocimiento sobre cómo cultivarla. En conjunto, los resultados evidencian que el sitio de colecta influye significativamente en el crecimiento y la fenología de *Heterotheca inuloides* Cass. (árnica), por lo que se recomienda profundizar en estudios comparativos entre procedencias para fortalecer las bases técnicas que permitan su aprovechamiento sustentable y su conservación.

Palabras clave: Árnica, propagación, conservación, crecimiento vegetal.

1. Introducción

Las plantas medicinales requieren un conocimiento profundo de sus mecanismos de reproducción y de sus ciclos de desarrollo, la propagación eficiente de una planta permite su conservación, aprovechamiento sostenible y producción a escala, mientras que la caracterización fenológica proporciona información clave sobre las etapas de crecimiento, floración y fructificación, fundamentales para su manejo técnico y científico (Gauna et al., 2023). El desarrollo de un seguimiento de propagación y caracterización fenológica de una planta medicinal representa una herramienta esencial para estandarizar procesos, optimizar recursos y generar datos confiables que faciliten la reproducción controlada de la especie de interés (Duarte et al., 2021). Entre ellas, identificar las condiciones óptimas para la germinación, el enraizamiento y el establecimiento de las plantas, así como registrar de manera sistemática los eventos fenológicos que definen su ciclo de vida (Duarte et al., 2021). Uno de los factores que pueden cambiar en el desarrollo de una planta es el cambio climático, que ha provocado cambios continuos en la fenología, afectando los procesos y el funcionamiento de las mismas (Denny et al., 2014). Las plantas medicinales funcionan como tales debido al efecto que provocan sus principios activos; sustancias dotadas de actividad farmacológica, y pueden ser metabolitos secundarios de las plantas (Sombra Argüelles, 2015).

En México, las plantas medicinales han sido parte importante de la historia desde los pueblos indígenas, el uso y aplicación constituyen un conocimiento que aún se transmite de generación en generación como parte de las tradiciones heredadas (Gauna et al., 2023). Existen personas que dominan el conocimiento de las plantas medicinales y otros que las comercializan, sin embargo, algunas sólo son colectadas y no producidas debido al desconocimiento de los requerimientos generales que estas necesiten. Por lo tanto, la recolección masiva de plantas medicinales en sus hábitats puede representar una amenaza para las poblaciones silvestres (Kulkarni et al., 2009). Debido a esto, la domesticación de una planta silvestre es una alternativa para satisfacer la demanda de los mercados medicinales.

Heterotheca inuloides Cass., es una planta medicinal que se encuentra en peligro de extinción debido a las grandes colectas para fines medicinales causando la reducción de esta población (Sugier et al., 2013). Pero puede ser propagada e introducida en el campo, para la producción de corto y largo plazo del cultivo brindado así la posibilidad de un mejor ajuste de la producción de materia prima (Sugier et al., 2013). En investigaciones sobre propagación de especies medicinales Camacho Morfín (1998) evaluó la germinación y emergencia de árnica bajo distintos tratamientos pregerminativos como remojo en agua a diferentes tiempos y temperaturas, aplicación de ácido gibérellico y escarificación química, encontrando que en

árnica el mayor porcentaje de germinación se logró con remojo por 48 horas a 24 °C, mientras que para la emergencia en ambas especies la mejor respuesta se obtuvo con siembra superficial (0 cm) y posición inclinada de la semilla. Por su parte, Osuna Fernández (2017) analizó las características morfológicas y fisiológicas de las semillas de árnica, incluyendo peso, tamaño, humedad y viabilidad, así como su respuesta al almacenamiento en diferentes condiciones, clasificándolas en ortodoxas y permeables, con buena capacidad de conservación a lo largo del tiempo y sin necesidad de escarificación. En este contexto, la caracterización fenológica permitirá identificar las etapas críticas del ciclo de vida de la especie, optimizando prácticas de cultivo. La evaluación del crecimiento de esta especie representará herramientas fundamentales para comprender su comportamiento, identificar momentos clave del ciclo de la vida de la planta, como tamaño, masa y desarrollo. Representa una estrategia clave para su conservación, aprovechamiento racional y escalamiento agronómico. Asimismo, la propagación contribuirá a reducir la presión sobre las poblaciones silvestres, promoviendo alternativas productivas para las comunidades rurales y fortaleciendo el vínculo entre el conocimiento tradicional y la ciencia aplicada.

2. Antecedentes

La propagación de las especies silvestres tiene como objetivo desarrollar las habilidades básicas y familiarizarse con las técnicas más frecuentes para la propagación de plantas, desde reconocer el tipo de semillas, determinar su viabilidad, aplicar los tratamientos pregerminativos y la propagación (Tabla 1) en ambiente protegido o en campo hasta el trasplante (Pérez-Nasser et al., 2019).

Tabla 1. Estudios previos de propagación de especies silvestres.

Espece	Medio de propagación	Resultados	Referencia
<i>Clinopodium mexicanum</i> (Benth.) Govaerts	Semilla	Mostraron que la temperatura tiene influencia con el porcentaje de germinación. El mayor % de germinación fue de 93% a temperatura de 28°C. Seguido de 89% a temperatura de 21°C. Menor porcentaje de germinación de 83% a temperatura de 15°C. El tiempo de germinación fue de 12 días en promedio en los tres porcentajes de germinación. Esto es condiciones ambientales controladas.	Silva-Castellanos et al., 2021

<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile.	Semilla	<p>Determinaron que su tasa de germinación en semillas pesadas fue de 38.4%. Semillas de peso medio fue 29.7% y semillas ligeras de 15.3%.</p> <p>Sin embargo, las semillas de peso medio germinaron más rápido a los 9 días, las pesadas a los 15 días y la de peso bajo a los 19 días.</p> <p>Las semillas con un peso significativo tienen más reservas nutritivas y, por lo tanto, permiten que las futuras plántulas se desarrollen mejor.</p>	Habou et al., 2022
	Acodo aéreo	<p>Tuvo una tasa de enraizamiento del 75%.</p> <p>Mencionan que el diámetro del tallo y la posición tienen influencia en el porcentaje de enraizamiento: tallos de gran diámetro en posición horizontal tuvieron 53.3 % y tallos de diámetro pequeño en posición vertical tuvieron 46.6%.</p>	Habou et al., 2022
<i>Gentiana spathacea</i> Kunth	Semilla	<p>El factor determinante para la germinación fue la temperatura. Los mejores resultados de germinación se obtuvieron a 20 °C, con un 80%. Y a mayor temperatura, a 30 °C o más, hay disminución en la germinación de las semillas, un 72.2 %.</p> <p>No requieren luz para germinar y empiezan a germinar a los 5 días.</p>	Romero Rangel, 2022
<i>Valeriana carnosa</i> SM.	Semilla	<p>Mostraron el poder germinativo en tres tratamientos. Para el testigo obtuvo un 20% germinación, la escarificación fría-húmeda en 30 días tuvo un porcentaje del 60%, en la escarificación fría húmeda en 10 días se obtuvo un 35% de germinación y el remojo en nitrato de potasio en 24 hrs al 21%.</p>	Sánchez y Riat, 2021
<i>Heterotheca inuloides</i> Cass	semilla	<p>Reportaron que las semillas recién recolectadas presentan una tasa de germinación del 97%. A seis meses de almacenamiento</p>	Maldonado Velasco, 2017

		<p>y a temperatura ambiente (26°C) su velocidad de germinación es de 72.7%. A los 12 meses almacenadas a 26°C su velocidad de germinación fue de 43.2%. En seis meses de almacenamiento a 7°C su velocidad de germinación es del 55.3%, a los 12 meses 46.3%.</p> <p>Sin embargo, el almacenamiento en frío a 7°C conserva mejor el contenido de humedad, viabilidad y capacidad germinativa de las semillas durante al menos 12 meses.</p>	
--	--	---	--

Fuente: Elaboración propia

3. Marco Teórico

3.1. Taxonomía, distribución y ecología de *Heterotheca inuloides* Cass

Reino: Plantae

Phylum: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Compositae

Género: *Heterotheca*

Especie: *Heterotheca inuloides* Cass (Figura 1).



Figura 1. *Heterotheca inuloides* Cass. (Propia).

El árnica pertenece a la familia Compositae, es una de las familias botánicas más grandes de las plantas vasculares, ocupa un lugar predominante en la flora mundial y de México.

Reportan que la familia está representada por aproximadamente 1600-1700 géneros y entre 25,000 a 35,000 especies (Espín Bahena et al., 2023). El nombre más común de la *Heterotheca inuloides* Cass. y dentro de los nombres comunes se encuentran: árnica, falsa árnica, árnica del país, acahual, árnica de campo, flor de árnica, tabaco de montañas entre muchos otros. Es muy común a orillas de los caminos y frecuenta bosques perturbados, es una maleza ruderal o arenisca que forma parte de la vegetación secundaria y común en los huertos familiares (Aviles y Fuentes, 2004). Se encuentra en hábitats ruderales y arvenses, pastizales perturbados, claros en bosques y se distribuye en zonas de pino-encino, pastizales, bosques tropicales caducifolios. Su distribución altitudinal se conoce de 1400 a 2100 msnm o hasta los 3300 msnm (CONABIO, 2009). El género *Heterotheca* fue descrito por Alexandre Henri Gabriel de Cassini (1781-1832), botánico francés especializado en la familia Compositae, de la cual describió varios géneros adicionales. El primer registro de sus propiedades se encuentra en el Códice Badiano, después de la conquista, en 1152. Su uso en medicina herbolaria humana y veterinaria es muy frecuente (Mitzy Eunice, 2013). El árnica es originaria de México, registrada principalmente del centro del país: Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Tlaxcala y Veracruz (Figura 2) (CONABIO, 2009 y Sombra Argüelles, 2015).

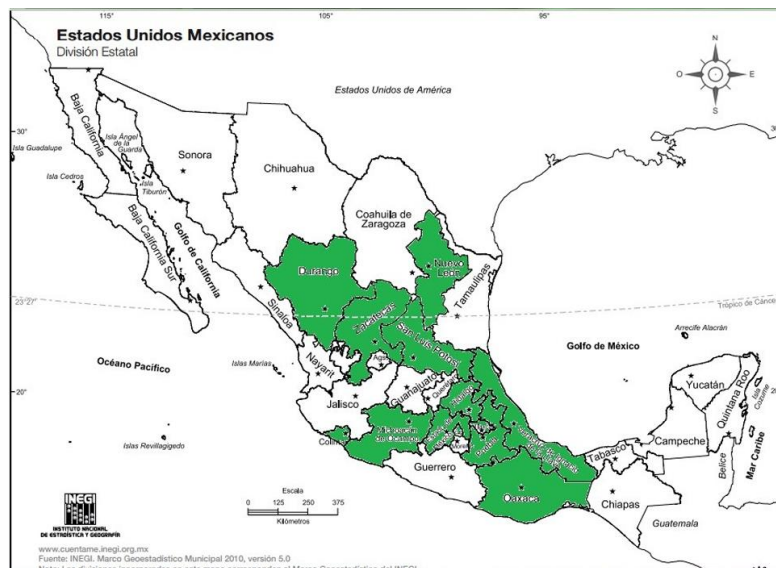


Figura 2. Distribución de *Heterotheca inuloides* (Sombra Argüelles, 2015).

3.2. Estudio in vitro donde se empleó el árnica *Heterotheca inuloides* Cass

Carmona-Aparicio (2019), evaluaron los efectos biológicos de *Heterotheca inuloides* en diferentes áreas cerebrales de ratas, dando como resultado efectos anticonvulsivos, disminuyendo la gravedad y latencia de las convulsiones.

El uso de compuestos antioxidantes de *Heterotheca inuloides*, Coballase-Urrutia y colaboradores describen que ayuda a prevenir enfermedades como los que provocan las ROS, sin embargo, no todos los compuestos del árnica contribuyen igual. Las especies de oxígeno potencialmente reactivas (ROS) son moléculas inestables producidos por el metabolismo celular, se generan continuamente en el cuerpo humano como consecuencia de la exposición a sustancias químicas exógenas del entorno (Coballase-Urrutia et al., 2010). Las ROS atacan e inducen fácilmente el daño oxidativo en varias biomoléculas, incluidas proteínas, lípidos, lipoproteínas y ADN, lo que provoca diversas enfermedades como la aterosclerosis, la diabetes, el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas, las enfermedades hepáticas y el proceso de envejecimiento (Coballase-Urrutia et al., 2010).

El árnica también ha sido de ayuda en aplicación de la salud bucal, dada a la alta incidencia de inflamación y dolor agudo en cirugía bucal, el uso del árnica puede minimizar dichos factores sin que genere efectos secundarios (Mitzy Eunice, 2013). Un estudio se basó en la aplicación de ibuprofeno, *Árnica montana* L. y *Heterotheca inuloides* Cass mediante infusión, en pacientes que se realizaron una cirugía bucal. Como resultados, se obtuvo que la *Árnica montana* tiene semejanza con el ibuprofeno; sin embargo, la *Heterotheca inuloides* Cass eliminó el proceso inflamatorio mucho antes que la *Árnica montana* L. y el ibuprofeno (Mitzy Eunice, 2013).

En la actualidad, el árnica ha sido utilizada por su actividad antiinflamatoria; además, esta planta tiene otras aplicaciones como tratamiento contra reumatismo, desórdenes gastrointestinales, entre otros; estas propiedades terapéuticas son debidas a metabolitos secundarios como fenoles y flavonoides (Nieto Ramírez et al., 2018).

3.3. Compuestos bioactivos de árnica

La medicina tradicional mexicana emplea principalmente las flores, aunque también se señala el uso de toda la parte aérea de la planta (Salazar Cervantes, 2016). En un estudio, se determinó el efecto de las condiciones de cultivo en la producción de fenoles y flavonoides, así como en la capacidad antioxidante del árnica (Nieto Ramírez et al., 2018). La concentración de estos compuestos está influenciada por las condiciones en las que esta sea cultivada, es decir, a campo y a invernadero. En el caso de la cantidad de fenoles, la concentración es mayor si se siembra en campo, regado con solución nutritiva, y se elicitara (estimulación de la planta para que produzca compuestos secundarios). En un invernadero, el estrés abiótico también puede ser modificante de la concentración de metabolitos secundarios. La concentración de flavonoides mostró un comportamiento opuesto al de los fenoles, ya que se observó un mayor incremento en la concentración total de flavonoides cuando las plantas fueron cultivadas en invernadero y regadas con solución nutritiva (Nieto

Ramírez et al., 2018). La capacidad antioxidante se relaciona con el estrés abiótico al que son sometidas las plantas, es decir, dependerá del riego y de la calidad del agua, si es sembrado a campo o en invernadero, y si esta es estimulada para la producción de metabolitos secundarios o no. El estudio menciona que la variedad de sesquiterpenos, flavonoides y terpenos; los compuestos están presentes de acuerdo a la edad de la planta, la floración y la región de origen (Nieto Ramírez et al., 2018). Se han enfocado a realizar estudios químicos y la mayoría enfocados a las flores según Salazar Cervantes (2016). El principal contenido de las flores son los compuestos sesquiterpénicos: 7-hidroxi-3,4-dihidrocadalen (1), cadaleno (2), 4-metoxi isocadalen (3), 4-hidroxiisocadalen (4), 7-hidroxycadalen (5), 1-isopropil-4,6-dimetil 1,2,8 α ,8 β -tetrahidro-2-naftol (6), 1 α -hidroxi-1(4H)-isocadalen-4-ona (7), 2,3-epoxi-7 hidroxi- β -calacoreno (8), inuloidina (9), ácido cadalen-15-oico (10), 3,7-dihidroxi-3(4H) isocadalen-4-ona (11), dicadalenol (12), ácido 1R,4R-1-hidroxi-1,2,3,4-tetrahidrocadalen 15-oico (13), 1-isopropil-4,6-dimetil-1,2,8 α ,8 β -tetrahidro-naftalen-2-ona (14), β -cariofileno (15) epóxido de β -cariofileno (16) y caryolan-1,9 β -diol (17), compuestos representados en la figura 3 (Rodríguez Chávez, 2015 y Salazar Cervantes, 2016).

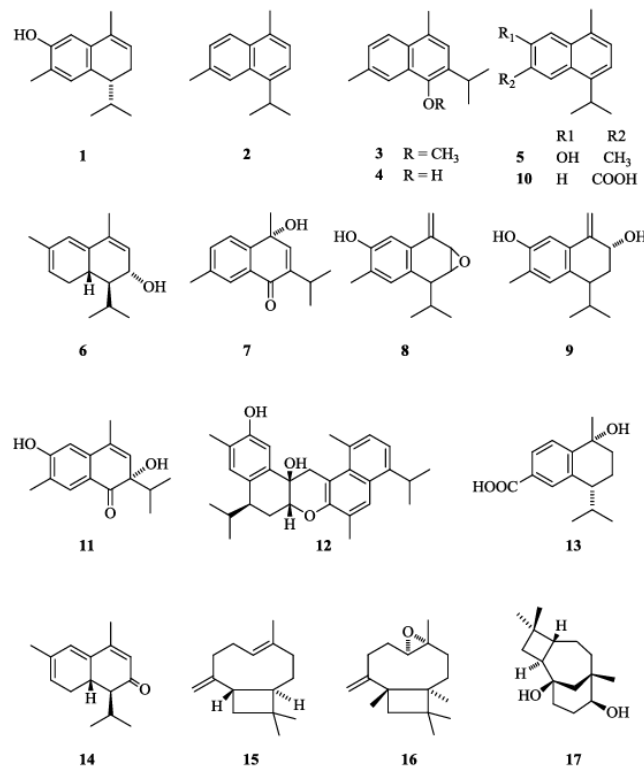


Figura 3. Principales compuestos Sesquiterpenos presente en las flores en *Heterotheca inuloides* Cass (Rodríguez Chávez, 2015).

También se han encontrado monoterpenos volátiles caracterizados a partir de las hojas: β -pineno (1), mirceno (2), *p*-cimeno (3), β -felandreno (4), linalol (5), α -terpineol (6), carvona (7), mentona (8), anetol (9), eugenol (10), α -pino (11), limoneno (12), *trans*- β -*p*-cimeno (13),

alcanfor (14), geraniol (15), γ -terpineno (16), sabineno (17), 1,4-cineol (18), α -terpineno (19), cis- β -ocimeno (20), trans- β -ocimeno (21), terpinoleno (22), linalool (23), cis-sabineno (24), borneo (25), acetato de bornilo (26), acetato de geraniol (27), α cubebeno (28), β -elemeno (29), β -bourboneno (30), α -cariofileno (31), α -cadinano (32), α -bergamoteno (33), germacreno-D (34), α curcumeno (35), γ -muuroleno (36), δ -cadineno (37), trans-nerolidol (38) y cedreno (39), algunos compuestos representados en la figura 4 (Rodríguez Chávez, 2015).

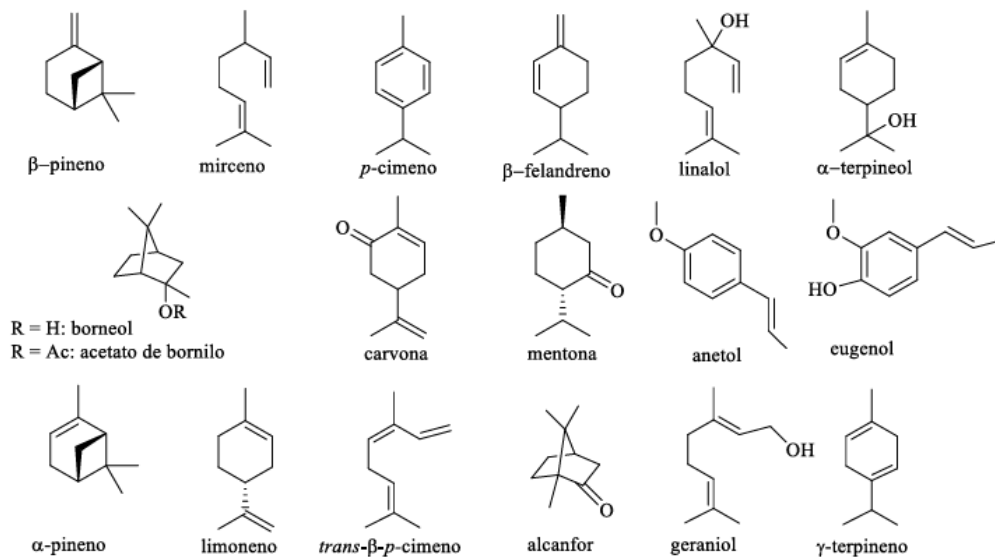


Figura 4. Monoterpenos en *Heterotheca inuloides* Cass (Salazar Cervantes, 2016).

El número de flavonoides y sus derivados, son muy extensos, pueden contabilizarse más de 120 compuestos identificados en *Heterotheca inuloides* Cass, alguno de los principales: luteolina (1), kaempferol (2), éter 3,7-dimetílico de kaempferol (3), éter 3,7,4"-trimetílico de kaempferol (4), éter 3,7-dimetílico de 6-metoxikaempferol (5), quercetina (6), éter 3,3"-dimetílico de quercetina (7), éter 3,4"-dimetílico de quercetina (8), éter 3,7-dimetílico de quercetina (9), éter 3,7,3"-trimetílico de quercetina (10), éter 3,7,4"-trimetílico de quercetina (11), éter 3,7,3",4"-tetrametílico de quercetina (12), éter 3,6,7,4"-tetrametílico de quercetina (13), éter 3'-metílico de eriodictol (14), éter 7,3" dimetílico de eriodictol (15), catequina (16), algunos compuestos representados en la Figura 5 (Rodríguez Chávez, 2015 y Salazar Cervantes, 2016).

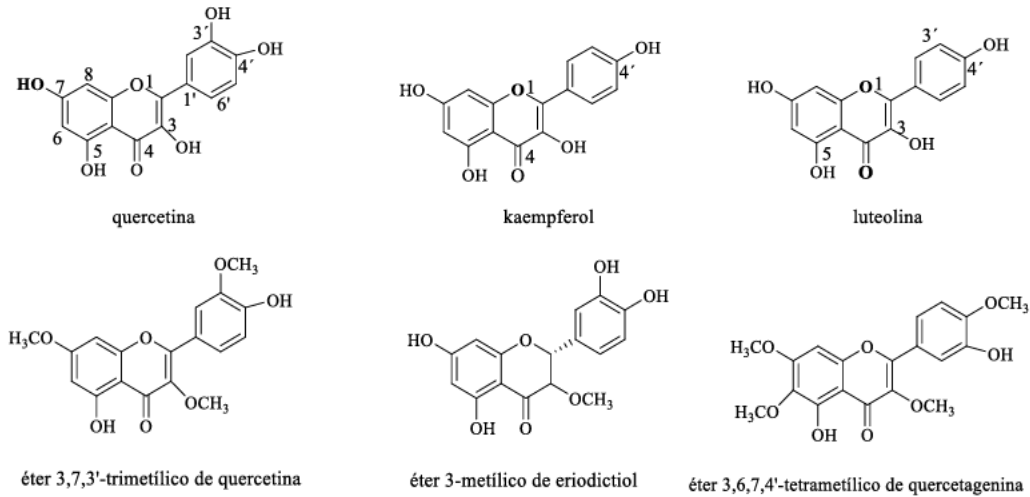


Figura 5. Algunos flavonoides encontrados en *Heterotheca inuloides* Cass (Salazar Cervantes, 2016).

En compuestos triterpénicos y fitoesteros se han encontrado α -espinasterol (1), lanosterol (2), campesterol (3), β -estigmasterol (4) y β -sitosterol (5) (Salazar Cervantes, 2016). Otros compuestos encontrados en árnica: 7-(3,3-dimetilaliloxi)-cumarina (1), D-chiro-inoditol (2), ácido gálico (3), ácido *p*-cúmarico (4), ácido clorogénico (5), ácido protocatecuico (6), ácido cafeico (7), umbeliferona (8), fenol (9), aldehído bencílico (10), alcohol bencílico (11), ácido palmítico (12), algunos compuestos representados en la figura 6 (Rodríguez Chávez, 2015 y Salazar Cervantes, 2016).

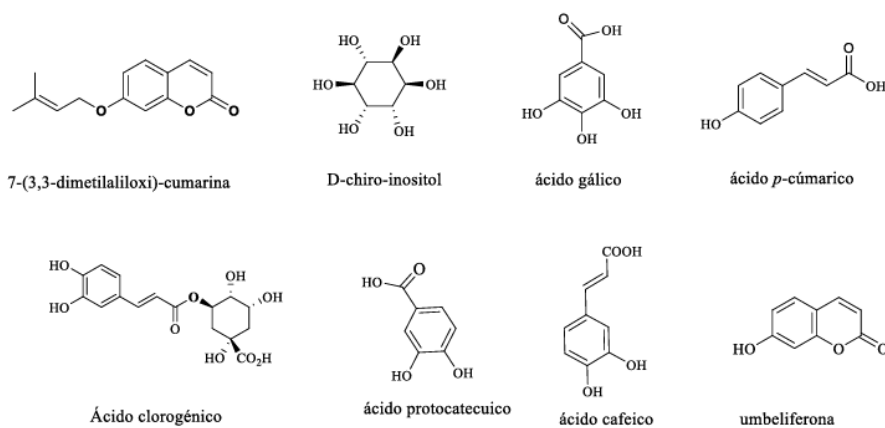


Figura 6. Otros compuestos encontrados en *Heterotheca inuloides* Cass (Salazar Cervantes, 2016).

3.4. Métodos de propagación de especies nativas y silvestres

La siembra puede realizarse directamente en suelo, en almácigos y/o en macetas. Dependiendo del material de propagación a utilizar y de las especies. El suelo debe estar muy bien preparado, mullido, suelto y enriquecido con mantillo o turba y arena. La época de siembra puede ser de enero a noviembre (Fretes, 2010). La viabilidad de un lote de semillas no durmientes se refiere a su capacidad de germinar y originar plántulas normales en

condiciones ambientales favorables. Para evaluar y cuantificar la viabilidad se pueden realizar diferentes tipos de test (Tabla 2), entre los que destacan: ensayos de germinación, test del tetrazolio y radiografía con rayos X (Pérez García y Pita Villamil, 2016).

Tabla 2. Tipos de test para evaluar la viabilidad de las semillas.

Pruebas de viabilidad en semillas				
Tipo de test	Descripción	Procedimiento	¿Viable o no viable?	Referencia
Ensayos de germinación	Si una semilla es viable y no presenta dormición, germinará cuando se ponga en las condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura.	Se disponen en papel de Petri o en bandejas y se colocan en cámaras de germinación.	La germinación de la radícula es el criterio que se suele utilizar para determinar si una semilla ha germinado obteniendo el porcentaje de viabilidad.	(Pérez García y Pita Villamil, 2016)
Ensayos de tetrazolio	Nos indica la viabilidad de semillas que presentan dormición, o con una velocidad de germinación muy baja. Este ensayo ha sido aplicado para numerosas especies de plantas.	Principalmente se hidratan, se activan rutas metabólicas y se liberan electrones (este hecho se puede utilizar para ver su viabilidad). Al colocar una semilla viable en contacto con una solución de tetrazolio, los electrones liberados en los tejidos del embrión reducirán a las sales de tetrazolio con lo que éstos adquirirán un color rojo o no.	Si la semilla no es viable, el embrión no cambiará de color, de lo contrario, este adquirirá un color rojo intenso (Figura 9).	(Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2018)

Radiografía con rayos X	Es un ensayo rápido y no destructivo que suele emplearse para evaluar la viabilidad de semillas de especies forestales. Presenta el inconveniente de que requiere un equipamiento costoso para su realización.	Se seleccionan las semillas del lote que estén limpias y secas, colocadas en una bandeja. Se meten en un equipo radiográfico y se visualizan las estructuras internas.	En las radiografías se pueden diferenciar las condiciones de los embriones, si están sanas, sin malformaciones o algún tipo de daño.	(Pérez García y Pita Villamil, 2016)
-------------------------	--	--	--	--------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

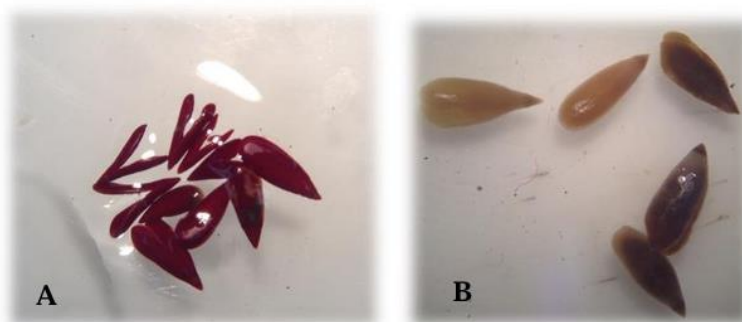


Figura 7. Viabilidad de semillas en embriones de *Heretheca inuloides* Cass con el ensayo de tetrazolio, A) viables, B) no viables (Maldonado Velasco, 2017).

La dormición es un estado de inactividad en el que se encuentran las semillas o los propágulos vegetales, lo que impide su germinación. Para superar este estado y promover la germinación, se emplean diversos métodos y técnicas. El fenómeno de la dormancia es común. Este fenómeno facilita la dispersión en las semillas (Pérez García y Pita Villamil, 2016). Los tipos de dormición: Primaria, inducida en la planta madre durante la maduración de la semilla; Secundaria, que ocurre luego de la dispersión de la semilla y es inducida por ciertas condiciones de estrés o por un ambiente desfavorable a la germinación. Generalmente está sujeta a ciclos anuales (semillas de malezas); Absoluta: nivel extremo de dormición; no se da germinación a ninguna temperatura de incubación; Relativa: la condición de dormición se expresa solamente en determinados rangos de temperatura relacionados con cambios a nivel de las membranas celulares (Mérola y Díaz, 2012).

Valera y Arana (2010) mencionan que los tratamientos pregerminativos son todos aquellos procedimientos necesarios para romper la latencia de las semillas. Los métodos

pregerminativos más comunes son: La estratificación, la escarificación (se subdivide en dos) y la lixiviación (Tabla 3).

Tabla 3. Los métodos pregerminativos más comunes para romper la latencia de las semillas.

Tratamientos pregerminativos			
Tratamiento	Descripción	Clasificación	¿En qué consiste?
Estratificación	Se utiliza para romper la latencia fisiológica. Colocan las semillas entre estratos que conservan la humedad, comúnmente arena, turba o vermiculita.	Estratificación fría	Las semillas se mantienen a temperaturas bajas, de 4 a 10 °C, por un periodo entre 20 y 60 días, llegando hasta 120 días.
		Estratificación cálida	La temperatura empleada oscila entre los 22 y 30 °C, con un periodo de 30 a 60 días.
Escarificación	Es cualquier proceso que rompa, raye, altere mecánicamente o ablande las cubiertas de las semillas para hacerlas permeables al agua y a los gases.	Mecánica	Consiste en raspar la cubierta de las semillas con lijas, limas o quebrarlas con un martillo o pinzas.
		Química	Consiste en remojar las semillas por períodos breves de 15 minutos a 2 horas, en compuestos químicos. Se cubren con ácido sulfúrico y el tiempo de tratamiento varía según la especie.
Lixiviación	Este tratamiento tiene como objetivo ablandar la testa, remojándola en diferentes periodos de tiempo.	—	Las semillas son remojadas en agua corriente con la finalidad de remover los inhibidores químicos presentes en la cubierta. Este remojo puede ser de 12, 24, 48 y hasta 72 horas.

Fuente: Elaboración propia

La propagación de las plantas constituye un hecho fundamental en los inicios de la agricultura, cuando los primeros habitantes comenzaron a cultivar plantas para satisfacer sus necesidades básicas (Gergoff Grozeff et al., 2023). La propagación vegetal se refiere a la multiplicación sexual que es a través de las semillas y asexual es de partes vegetativas de las plantas que tiene la capacidad de generar nuevos individuos (Gergoff Grozeff et al., 2023). Los protocolos de propagación en especies de difícil manejo son esenciales para conservar la biodiversidad, restaurar ecosistemas y cultivar plantas raras o amenazadas. Estas especies

suelen presentar desafíos como la baja viabilidad de las semillas, la dormancia prolongada, la sensibilidad ambiental o la escasa información técnica (Gauna et al., 2023).

3.5. Ciclo fenológico de las plantas: fundamentos y aplicaciones

La fenología es la respuesta de la planta a los estímulos ambientales, como los climáticos. (Mejía Gutiérrez, 1990). La fenología, que se deriva de la palabra griega *phaino* que significa mostrar o aparecer, es el estudio de las etapas recurrentes del ciclo de vida de plantas y animales, especialmente su tiempo y relaciones con el tiempo y el clima (Schwartz, 2013).

La germinación es el proceso que se inicia con la toma de agua por la semilla seca (imbibición) y termina cuando una parte de ésta atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (emergencia) y la duración de cada fase dependerá de las características de la semilla y las condiciones externas en las que se produce (Figura 8) (Ázcón-Bieto y Talón, 2013). La emergencia marca el fin de la germinación y el comienzo del crecimiento de la plántula, este proceso lo conduce básicamente la elongación celular (Ázcón-Bieto y Talón, 2013).



Figura 8. Proceso de germinación de las semillas (Schwartz, 2013).

La floración se designa como la etapa del desarrollo con la que se inicia la fase reproductiva de la planta, el éxito reproductivo de una planta depende de que la floración tenga el momento más adecuado de su desarrollo y cuando las condiciones ambientales sean favorables (Figura 9) (Taiz y Zeiger, 2006). La falta de movilidad de las plantas y sus características particulares de desarrollo han propiciado el establecimiento de mecanismos especializados de control del tiempo de floración que aseguren el éxito reproductivo y la permanencia de la especie (Taiz y Zeiger, 2006).



Figura 9. Flor de árnica (CONABIO, 2009).

El fruto es el órgano de las plantas con flores, que se desarrolla a partir del ovario fecundado. (Figura 10). La fructificación es el proceso de polinización del óvulo promoviendo el desarrollo del ovario, el polen es transportado por viento, animales, insectos y el agua; ayudando a depositar el grano de polen a los estigmas de la flor, y tras la fecundación del ovario inicia el desarrollo hasta convertirse en fruto maduro (Ázcón-Bieto y Talón, 2013).



Figura 10. Aquenios (semilla y fruto) de las flores de árnica (propia).

La senescencia se produce en todas las plantas y a lo largo de todos los estados de desarrollo. La senescencia es un proceso de desarrollo de desmantelamiento y reciclaje ordenado de una parte de las estructuras y las moléculas que ya no resultan útiles para la planta en un momento dado, en ocasiones se produce la muerte del individuo (Figura 11) y los materiales reciclados se almacenan en las semillas para ser usados en la siguiente generación de plantas (Ázcón-Bieto y Talón, 2013).



Figura 11. La senescencia presentándose en las hojas (SAG, 2023).

3.5.1. Factores ambientales que influyen en el desarrollo fenológico

Las plantas han respondido a los efectos del cambio climático migrando o adaptándose, son más vulnerables a los cambios de temperatura que a otra variable meteorológica. Las causas del cambio climático se encuentran principalmente en el incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, especialmente el CO₂, la deforestación y la agricultura. Afecta al hombre como en la disminución en la producción y abastecimiento de alimentos, enfermedades, alergias y plagas. También la presencia de fenómenos naturales como las sequías, inundaciones, huracanes y tornados (Alvarado et al., 2002).

El cambio climático es factor de la tardanza de la liberación de dormancia de un cultivo o también puede acelerarse, es decir, sale de su estado de reposo; dependiendo de la demanda de frío del cultivar (Schwartz, 2013). Este fenómeno puede alterar el inicio del estado de floración de un cultivo, así como también el tiempo de maduración; puede tardar menos días si hay frecuencia de sequías durante el llenado de granos, pueden tener que adelantar su maduración (Schwartz, 2013). La temperatura es un factor que adelanta procesos fenológicos en las plantas, sin embargo, en otoño se retrasan (Alvarado et al., 2002). Los patrones fenológicos anticipados pueden alterar la distribución de los recursos en las plantas. El aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera, permitiendo el desarrollo en zonas donde la vegetación estaba restringida de menor tamaño. Algunas investigaciones señalan que la concentración de CO₂ no afecta en primavera, pero sí lo hace de forma notable en otoño, cuando las plantas crecen en ambientes con poca disponibilidad de nutrientes. También, en altas concentraciones, afecta la fenología de la floración (Alvarado et al., 2002). La cantidad de agua, la frecuencia e intensidad de la precipitación son cruciales para la distribución de las plantas en la Tierra. El déficit hídrico afecta los niveles celulares, fisiológicos y morfológicos, disminuyendo la tasa de crecimiento y desarrollo de la planta; puede retardar el envejecimiento de algunas plantas, como las gramíneas y las leguminosas. El exceso de agua provoca la falta de oxígeno en las raíces, lo que afecta el desarrollo de la planta; sin embargo, existen plantas tolerantes (CIAT, 1997).

La calidad y periodicidad de la luz influyen en el desarrollo de las plantas porque estimulan la germinación, la floración, los movimientos de la planta, entre otros fenómenos. Las plantas de sombra no son capaces de responder a las altas intensidades de radiación, es decir, la fotosíntesis se reduce por el exceso de radiación (CIAT, 1997). Las propiedades físicas del suelo, como la densidad aparente y la porosidad, afectan el contacto semilla-suelo. A mayor contacto semilla-suelo, mayor estará en contacto con el transporte líquido. Las propiedades del suelo facilitan el transporte del agua, la emergencia de la plántula y el crecimiento radicular (CIAT, 1997).

3.5.2. Métodos de registro y monitoreo fenológico

Los cambios en la fenología de las especies provocan perturbaciones en los procesos ecológicos que dependen de la subsistencia humana. El estudio de la actividad de las plantas es fundamental para comprender las interacciones y las modificaciones que depende. El monitoreo del estado de la fenofase permite determinar las fechas de los eventos fenológicos (Denny et al., 2014). Este protocolo está diseñado para la observación *in situ* de la fenología vegetal; es decir, se refiere a métodos estructurados para estudiar directamente, en el entorno natural, los eventos del ciclo de vida de las plantas (como brotación, floración y fructificación) en una población vegetal específica (Denny et al., 2014). La fenofase es una etapa observable en el ciclo de vida anual de una planta, caracterizada por un inicio y un final, suelen durar unos pocos días o semanas. También pueden registrar la intensidad o la abundancia de cada fenofase (por ejemplo, el número de flores presentes o el porcentaje de flores abiertas). También es una breve clave en la comprensión de las especies de cómo responden al cambio climático y predecir hasta qué punto los organismos serán capaces de seguir el ritmo de su entorno (Denny et al., 2014).

La escala extendida BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie), es una escala que describe los estados de crecimiento de las plantas en todas sus etapas de desarrollo mediante códigos y descripciones de las características principales de la planta (Figura 12) (Uwe Meier, 2018).

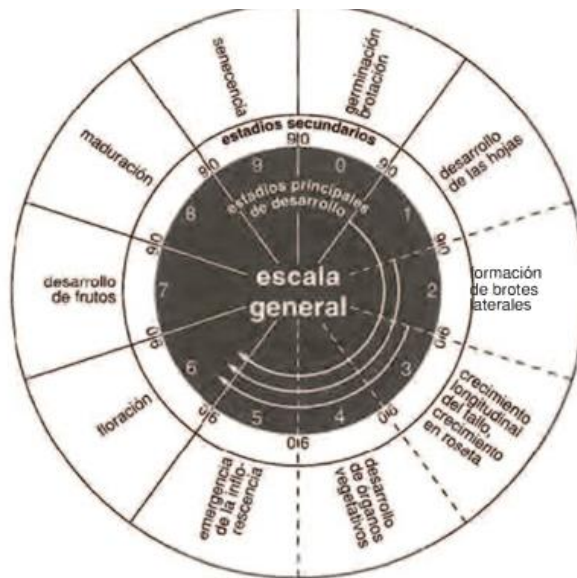


Figura 12. El ciclo de desarrollo de plantas mono y dicotiledóneas dividido en estadios de desarrollo principales y secundarios (Uwe Meier, 2018).

Las manifestaciones fenológicas son variables según la especie vegetal, lo que origina la necesidad el diseño de metodologías diferentes, Menciona un estudio una metodología que está diseñada para el conocimiento de especies de coníferas, sin embargo, puede ser probada en otros tipos de vegetación con debidas modificaciones (Bellos González, 1988). Se selecciona el sitio y las condiciones, la selección y número de individuos, se hace levantamiento topográfico, un análisis de vegetación con la finalidad de determinar la sincronización de los árboles, un análisis de suelo para conocer el tipo y calidad de suelo del sitio y observaciones meteorológicas (Bellos González, 1988). Su registro se basa en la anotación de la especie a estudiar, número de individuos, periodicidad de observación, y fases fenológicas como: la floración, fructificación y estado vegetativo. Cada fase está subdividida en cuatro categorías. Después de haber cubierto el periodo, se recaba la información para la elaboración del calendario y de las gráficas de la representación fenológica.

4. Importancia del conocimiento fenológico en la agricultura

4.1 Planificación agronómica y aprovechamiento óptimo de recursos

La importancia del conocimiento fenológico de las especies vegetales se ha reconocido gradualmente a través del tiempo, ya que permite identificar los fenómenos de floración, fructificación, germinación y dispersión de semillas, así como el estado vegetativo, con las perspectiva de lograr un mejor manejo de ellos y su conservación, además, genera información sobre las variaciones que ocurre en las plantas para entender las respuesta de estas a las condiciones climáticas y la dinámica de las comunidades vegetales (Bellos

González, 1988). Conocer la información fenológica ayuda a la toma de decisiones de los agricultores, es decir, a programar correctamente operaciones como, siembra, fertilización, riego, protección de cultivos y predecir las fenofases, que son útiles también para aplicaciones científicas, como investigaciones entre cultivos y climas (Schwartz, 2013).

4.2 Relación con el rendimiento, calidad y adaptabilidad del cultivo

La adaptación fenológica y productiva de distintas especies vegetales a las condiciones agroecológicas es muy importante. Algunas especies estudiadas demostraron adaptarse sin mayores inconvenientes a la zona de producción, no presentaron incidencia de plagas ni enfermedades que limiten el crecimiento y desarrollo de las especies (Tomas, 2022). La fenología es una herramienta clave para cualquier agricultor que busque mejorar la calidad y cantidad de su producción. Incorporar este conocimiento en las prácticas diarias de manejo del cultivo puede marcar una gran diferencia en los resultados (Ambriz, 2024).

4.3 Aplicaciones en el manejo agronómico y fitosanitario

Entender la fenología de los cultivos es una herramienta esencial para los agricultores: optimiza el riego y la fertilización, asegurando lo óptimo para su desarrollo; mejora el manejo de plagas y enfermedades, implementando estrategias preventivas y un mejor control; planifica las cosechas; ajusta las prácticas de poda y manejo; y adapta a las condiciones climáticas (Ambriz, 2024).

La fenología no solo ayuda a comprender el ciclo de vida de las plantas, sino que también permite anticipar y controlar plagas y enfermedades de manera más eficiente. Todas las plantas están expuestas a daños causados por diferentes tipos de plagas o enfermedades. Más de las veces los daños producidos son visibles; pero en otras son invisibles, es decir, dañan el interior de la planta; sólo pueden ser detectados por el deterioro de estas (Yzarra Tito y López Ríos, 2011). Es muy común que las enfermedades sean causadas por hongos, tal como sucede con los ataques de racha en la papa y oídium en frutales. Los daños causados por las plagas y enfermedades, en el área seleccionada para las observaciones fenológicas son determinantes cuando son monitoreados los cultivos (Yzarra Tito y López Ríos, 2011).

5. Potencial agronómico de *Heterotheca inuloides* Cass

Hay pocos estudios de la implementación de árnica a la agricultura, sin embargo, es posible con un manejo adecuado y condiciones aptas para su desarrollo, en especial conservar sus propiedades medicinales. Además, es utilizada en la medicina tradicional mexicana, por lo

tanto, tiene una creciente demanda. Sin embargo, para cultivar árnica dependerá de la demanda y de sus fines medicinales. Se sugiere que reciba un riego frecuente al inicio de la siembra y, posteriormente, dos veces por semana, con el fin de que esté en buen estado, crezca mejor y que la cantidad y la concentración de flavonoides sean regulares (Sombra Argüelles, 2015). Para la siembra se puede usar peat most. Las características del suelo son importantes para sus principios medicinales. La tierra proveniente de las minas de arena puede presentar una mayor concentración de flavonoides y un color más amarillón (Sombra Argüelles, 2015). Un abonado no hace la diferencia; produce más materia seca, pero no es económicamente rentable. Esto se debe a que crece en suelos pobres (Sombra Argüelles, 2015). Para su almacenamiento y que no pierda un alto porcentaje de su viabilidad se recomienda que se almacene a una temperatura de 7°C hasta por un tiempo de 12 meses (Maldonado Velasco, 2017).

El árnica tiene efectos farmacológicos y están asociadas con efectos adversos e interacciones farmacológicas. Muchas plantas pueden ser tóxicas dependiendo de la dosis y la frecuencia que se consumen, esto existe en la población general con la creencia de que los naturales son buenos, aun cuando se sabe que puede ser tóxico (Muñoz Ruiz et al., 2010). En el caso del árnica, en Colombia se reportó un caso de hepatitis tóxica asociado al consumo de este. Le realizaron varios estudios para descartar cualquier otra causa que pudiera estar asociada. Su antecedente fue que solo consumía árnica como analgésico. Esto causó su hepatitis tóxica, siendo candidato a trasplante de hígado (Muñoz Ruiz et al., 2010).

6. Justificación

La creciente demanda de productos naturales con propiedades medicinales ha impulsado el interés por especies vegetales como *Heterotheca inuloides* Cass, cuya eficacia terapéutica ha sido respaldada por su uso tradicional en comunidades rurales. No obstante, el sobre aprovechamiento mediante la recolección silvestre, lo que genera una sobreexplotación de las poblaciones. Ante este panorama, la caracterización fenológica y la evaluación del crecimiento del árnica se podrá comprender su adaptación en campo, así mismo, poder conservar esta especie. Estudiar las variables ejemplares de diferentes orígenes geográficos permite obtener patrones de respuesta como; el tiempo, porcentaje de germinación, la caracterización de las semillas, tiempo de crecimiento por etapa y su desarrollo. En conjunto, permitirá identificar los momentos fenológicos y propagación del árnica, optimizando las prácticas de cultivo y conocimiento útil para productores, investigadores y tomar decisiones en el ámbito agrícola y ambiental.

7. Hipótesis

La caracterización fenológica y la evaluación del crecimiento de *Heterotheca inuloides* Cass. Permite optimizar la propagación y establecimiento bajo condiciones controladas.

8. Objetivo general

Determinar la relación entre los sitios de colecta y el comportamiento fenológico y crecimiento de las plantas de árnica, con el fin de identificar poblaciones con mayor potencial para su producción.

8.1 Objetivos específicos

1. Evaluar la germinación de semillas de *Heterotheca inuloides* Cass. en condiciones de sustrato para identificar los factores que inciden en la emergencia y el vigor de las plántulas.
2. Caracterizar las principales etapas del ciclo fenológico (germinación y desarrollo) de *Heterotheca inuloides* Cass. Registrando la duración de cada fase en condiciones de campo.
3. Describir las variables morfológicas y agronómicas clave (altura de planta, tamaño y peso de semilla) que permitan establecer parámetros útiles para su propagación y posible manejo agronómico.

9. Material y métodos

9.1. Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la localidad de Acantilado (San Josecito), municipio de Huayacocotla, estado de Veracruz. La localidad se ubica entre las coordenadas de longitud 98°31 '29.235 W y latitud 20°29' 12.283 N, la altitud está a 2,288 msnm (Figura 13) (INEGI, 2025). Su clima es templado-húmedo, con una temperatura media anual de 14.8 °C y una precipitación anual de 1468.4 mm (INEGI, 2022).



Figura 13. Mapa del área de estudio (INEGI, 2025).

9.2. Recolecta

Se recolectaron las semillas de árnica de forma manual, en seis diferentes localidades de Huayacocotla, Veracruz. (Figura 14). Se tomaron las coordenadas geográficas en cada sitio de recolecta, se midió la altura y se contó las plantas presentes en el punto de muestreo, así como también en donde fue encontrada (Tabla 4). Las semillas se guardaron en bolsas de papel y se les asignó una identificación (Figura 15). Las colectas se realizaron en las localidades de Acantilado (San José), La Loma, Palo Bendito y Rafael Valenzuela.

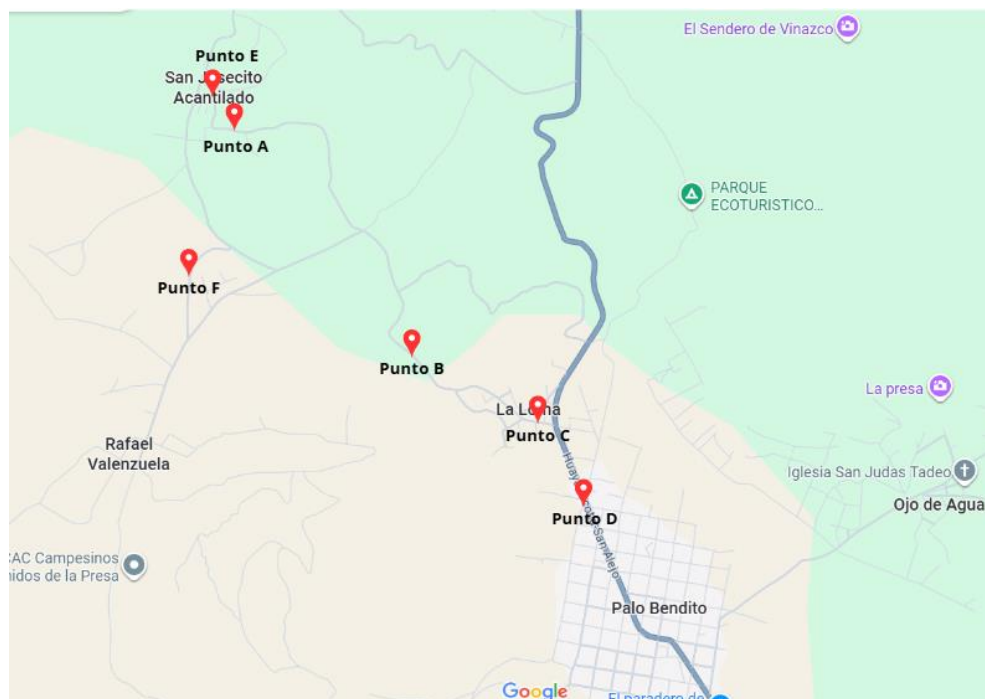


Figura 14. Puntos donde se realizó la colecta de semillas (conabiorodr, 2025).

Tabla 4. Registro de datos de los puntos de colecta.

Punto de colecta	Sitio de colecta	Altitud (m)	Latitud (N)	Longitud (w)	Racimos por planta	Altura de la planta (cm)	Plantas por sitio	Sitio donde se encontro
A	San José Acahualtán, Veracruz	2311	20° 29' 01.388"	98° 31' 25.604"	5	47	10	Orilla de camino de terracería
B	La Loma, Veracruz	2343	20° 18' 18.535"	98° 30' 49.217"	4	63	3	Orilla de camino de terracería
C	La Loma, Veracruz	2287	20° 28' 05.011"	98° 30' 23.046"	3	26	4	Orilla de carretera
D	Palo Bendito, Veracruz	2301	20° 27' 44.232"	98° 30' 13.247"	7	55	33	Orilla de carretera
E	San José Acahualtán, Veracruz	2293	20° 24' 08.532"	98° 31' 29.924"	3	45	15	Orilla de camino de terracería
F	Rafael Valenzuela, Veracruz	2281	20° 28' 33.082"	98° 31' 34.895"	6	51	9	Orilla de camino de terracería



Figura 15. A) Árnica en camino de terracería; B) Árnica a orilla de carretera; C) Recolección de semilla; D) Medición de altura de la planta de árnica; E) Semilla guardada e identificada en bolsas de papel.

9.3. Propagación

Para la germinación de las semillas, se preparó una charola de 200 cavidades con peat most, separado por cada punto diferente de recolecta. Se sembraron 120 semillas el día 20 de agosto del 2025. Se colocó una semilla por cavidad (20 semillas por cada punto de colecta) a una profundidad de 1 cm. Su riego fue diario de manera manual por dos semanas.



Figura 16. A) Flor seca y achenios de árnica; B) Medición de la semilla (ancho y largo); C) Medición de peso de la semilla; D) Preparación de la charola; E) Identificación y siembra de cada punto de colecta en charola.

9.4. Mantenimiento de las plantas

Las plantas germinadas fueron mantenidas con un riego diario por dos semanas, y el resto cada tercer día, El riego fue por las mañanas con ayuda de una regadera de jardín de 3 litros. Después del trasplante, el riego fue semanal, aproximadamente 1 litro por planta.

9.5. Trasplante y fertilización

El trasplante se realizó a los 52 días de la siembra. Contaba la mayoría de 5 a 7 hojas verdaderas, pocas estaban en la tercera, cuarta, octava y novena hoja verdadera. Para la preparación se agregó turba húmeda hasta llegar a 12 cm alto de la bolsa, se le colocó una identificación a cada bolsa por cada punto de colecta. En total, se trasplantaron 54 plantas (figura 17) en bolsas de polietileno de 20 x 20. Después de 5 días de su trasplante, se le realizó una fertilización con fertilizante Harvest More® (20-20-20), se disolvió 1.2 g en 10 litros de agua y con esta solución se le aplicaron alrededor de 180 mL en cada bolsa.



Figura 17. A) Plántula de árnica; B) árnica trasplantada en bolsas.

9.6. Parámetros agronómicos

Para evaluar el comportamiento del árnica (*Heterotheca inuloides* Cass.) proveniente de diferentes lugares de colecta, se midieron las variables de crecimiento y desarrollo vegetativo. La altura de la planta (cm) se determinó utilizando una regla desde la base de la planta (a nivel del sustrato) hasta el punto de crecimiento. El diámetro del tallo (mm) se midió con un calibre digital en la base del tallo. El número de hojas se determinó mediante un conteo visual de las hojas desarrolladas. El peso de las semillas (mg) se midió con una báscula digital de alta precisión, antes de la siembra. La longitud de las semillas (mm) se midió con un calibre digital, midiendo el largo y el ancho de las semillas, antes de la siembra (Figura 18). La longitud de la raíz (cm) se midió con una regla desde la base hasta el punto de término de crecimiento, después de la limpieza total de la raíz, ya sin contacto con el sustrato. El peso fresco de la raíz (g) se midió con una báscula digital de precisión, tras la limpieza total de la raíz, pesándola en diferentes puntos de colecta. El peso fresco aéreo (g) se midió con una báscula digital de precisión, después de la limpieza total de la planta y separación de la raíz. El peso seco aéreo (g) se midió con una báscula digital de precisión, tras el secado de la planta. Finalmente, el peso seco de la raíz (g) se midió con una báscula digital de precisión tras su secado.

9.7. Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de varianza y la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de medias de Fisher ($\alpha \leq 0,05$) para evaluar las variables agronómicas. Todos los procedimientos estadísticos se realizaron con el software Infostat 2020.

9.7. Monitoreo de plagas

Para la evaluación del estado del cultivo, se basó en el monitoreo constante de manera visual, para detectar problemas de presencia de plagas y/o enfermedades. Se fue registrando la presencia de insectos en el cultivo, así como su eliminación.

9.8. Encuesta

Se realizó una encuesta a 122 personas con el objetivo de recopilar información sobre el conocimiento popular y agrícola acerca del árnica para saber sus usos, donde obtuvieron el conocimiento, saber si es cultivada, en qué épocas del año se ha observado la presencia del árnica en la naturaleza, en donde se ha visto crecer, su opinión acerca de la propagación y conservación del árnica, también sus medios de preparación para su uso o aplicación, entre otros factores (Figura 18).



Figura 18. Encuesta sobre el conocimiento del árnica.

10. Resultados

10.1. Germinación

Los resultados de días promedio de germinación mostraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo (Figura 19A); Los sitios D y E mostraron los mismos valores de los días promedios de germinación (161.19%) con respecto al sitio A, seguido por el sitio C (157.1%), sitio B (142.9%) y el sitio F (133.3%) con respecto a los sitios D y E. Los resultados con respecto al número de semillas germinadas (Figura 19C) mostraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo; Los sitios A y E mostraron ser los mismos y mayores valores (2000%) con respecto al sitio B, seguido el sitio D (1700%), sitio C (500%) y el sitio F (400%). Los resultados del porcentaje de germinación mostraron diferencias significativas en diferentes sitios de muestreo (Figura 19C); los puntos A y E presentaron un total de germinación del 100%, con respecto al punto D, con un 85% de germinación, seguido por el sitio C (25%), sitio E (20%) y sitio B (5%).

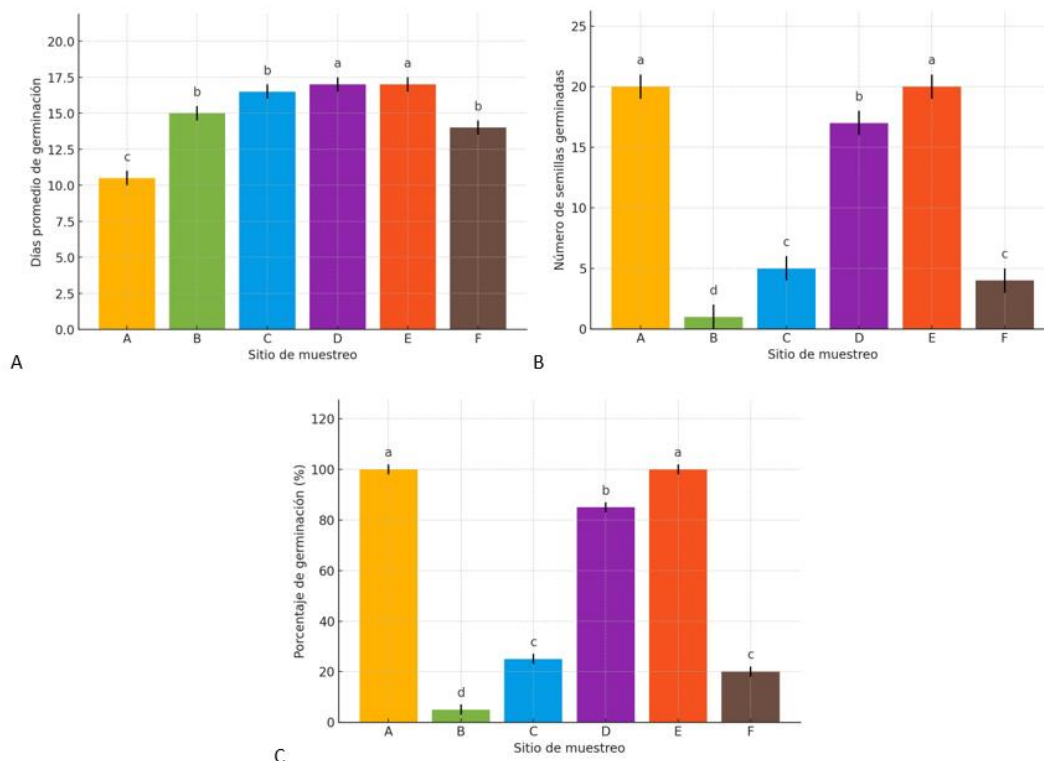


Figura 19. A) Días promedio de germinación; B) Número de semillas germinadas; C) Porcentaje de germinación. A, B, C, D, E Y F, son los sitios de colecta de semillas de árnica. Las barras representan la desviación estándar. Letras a, b, c, d; sobre las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ($p < 0.05$).

10.2. Comportamiento del árnicica de los diferentes puntos de colecta.

Los resultados para altura de la planta mostraron diferencias significativas entre los puntos de colecta (Figura 20A). El sitio de muestreo D mostró más altura (681.66%) con respecto al sitio de muestreo B, seguido del sitio F (603%), sitio A (450%), sitio E (438.3%) y sitio C (271.7%). Los resultados para el diámetro del tallo (Figura 20B) mostraron diferencias significativas entre los puntos de colecta. El sitio de colecta F presentó un mayor diámetro (412.5%) con respecto al sitio B, seguido del sitio E (407.5%), sitio D (372.5%), sitio A (367.5%) y sitio C (370%) comparado con el sitio B. Los resultados para el número de hojas (Figura 20C) presentaron diferencias significativas entre los puntos de colecta; El sitio de muestreo A mostró mayor número de hojas (536.4%) con respecto al sitio B, seguido por sitio E (490.9%), sitio F (436.4%), sitio D (375.8%) y sitio C (272.7%) con respecto al sitio B. Los resultados sobre la longitud de raíz (Figura 20D) mostraron diferencias significativas; El sitio de muestreo E presentó tener una mayor longitud raíz (389.8%) con respecto al sitio B, seguido por el sitio A (375%), sitio D (365.6%), sitio F (327.3%) y sitio C (324.1%) comparado con el sitio B. Los resultados sobre el peso fresco aéreo de la planta (Figura 20E) mostraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo; El sitio de muestreo F (461.1%) mostros tener mayor peso en comparación con el sitio B, seguido por el sitio E (406.9%), sitio D (398.6%), sitio A (384.7%) y el sitio C (206.9%) en el mismo sentido de comparación. Los resultados sobre el peso fresco de la raíz (Figura 20F) mostraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo; El sitio de muestreo A presento tener mayor peso en la raíz (354.2%) en comparación con el sitio B, seguido por el sitio E (302.1%), sitio D (283.3%), sitio F (256.3%) y sitio C (135.4%) con respecto al sitio B. Los resultados respecto a peso seco aéreo de las plantas (Figura 20H) mostraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo; El sitio de muestreo F tuvo mayor peso seco aéreo (1016.7%) en comparación con el sitio C, seguido del sitio E (833.3%), sitio A (783.3%), sitio D (333.3%) y sitio B (183.3%). Los resultados para el peso seco de la raíz (Figura 20G) mostraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo; El sitio de muestreo E presentó mayor peso seco de la raíz (383.3%) en comparación con el sitio C, seguido del sitio A (366.7%), sitio (333.3%), sitio F (300%) y el sitio B (116.7%).

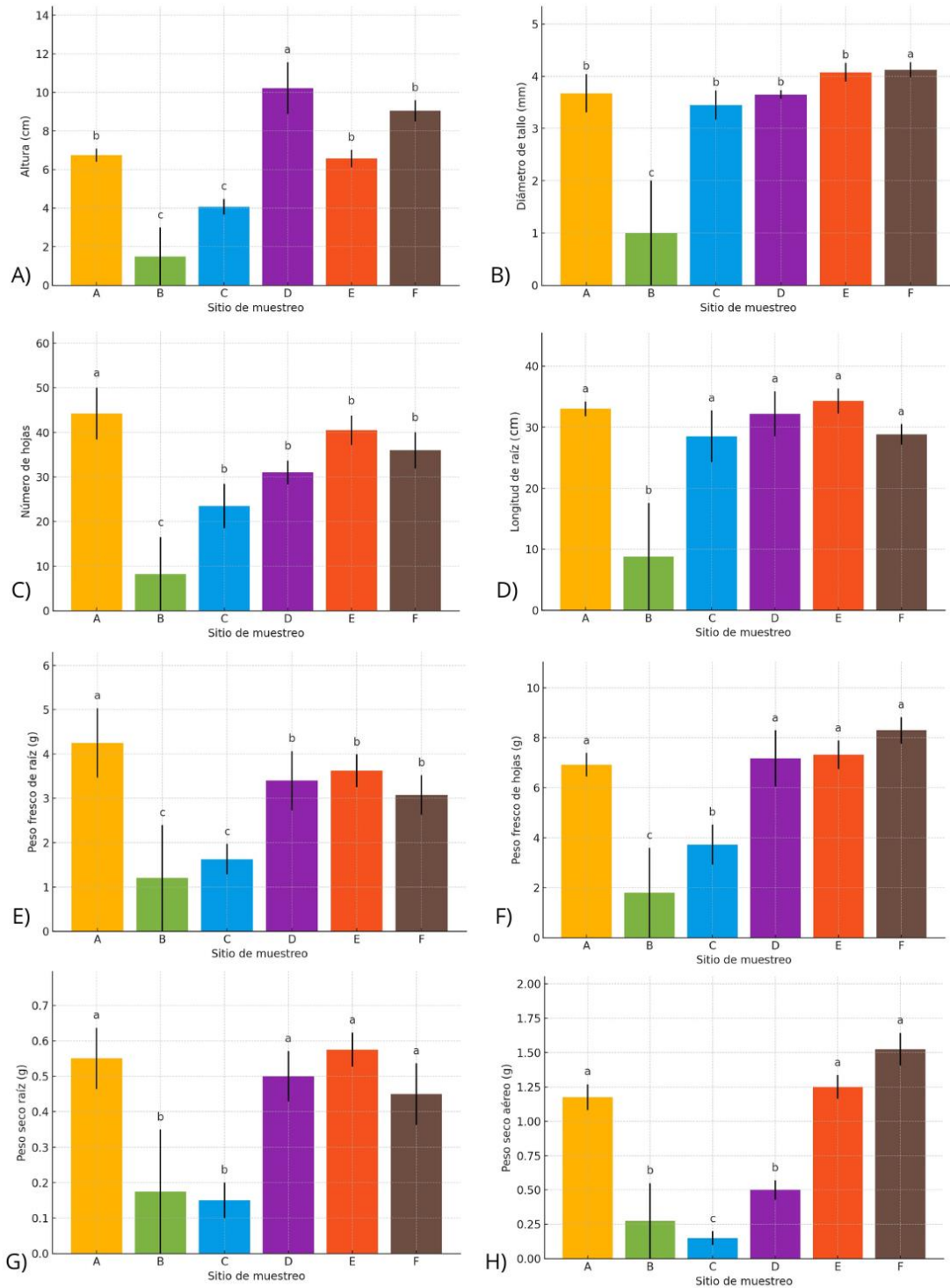



Figura 20. A) Altura de la planta; B) Diámetro del tallo; C) Número de hojas; D) Longitud de la raíz; E) Peso fresco de la raíz; F) Peso fresco de las hojas; G) Peso seco de la raíz; H) Peso seco aéreo. A, B, C, D, E y F son los sitios de muestreo de los que se recolectaron las semillas de árnica. Las barras representan la desviación estándar. Letras a, b, c, d; sobre las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ($p < 0.05$).

10.3. Monitoreo de plagas

En este caso hubo presencia de algunos insectos; en las dos ocasiones, principalmente se observó una pequeña presencia de individuos y se decidió la eliminación manual (Tabla 5). En las últimas dos ocasiones se observó presencia considerable de insectos que estaban dañando el cultivo y se tomó la decisión de aplicar un insecticida para su eliminación, aplicando Foley®50C MAX (Tabla 5), insecticida organofosforado que actúa por contacto, ingestión e inhalación, para que ya no continúen dañando la planta, utilizando un atomizador de 150 mL y su aplicación por aspersion.

Tabla 5. Presencia de insectos en el cultivo de árnica.

¿Cuándo se presentó?	Plaga	Método de eliminación	Dosis
36 días después la siembra	<i>Trichoplusia ni</i> (Gusano falso medidor) 	manual	-
60 días después de la siembra	<i>Cornu aspersum</i> (Caracol de jardín) 	manual	-
62 días después de la siembra	<i>Trichoplusia ni</i> (Gusano falso medidor) 	insecticida	0.72 mL en 150 mL de agua.

73 días después de la siembra	<i>Bemisia tabaci</i> (Mosca blanca) 	insecticida	0.72 mL en 150 mL de agua.
-------------------------------	---	-------------	----------------------------

10.4. Encuesta

Con la finalidad de contar con información sobre el conocimiento popular y agrícola acerca del árnica, se realizó una encuesta a 122 personas, registrándose los siguientes resultados. Más de la mitad, el 56.6%, proviene de la zona rural, un 42.6% proviene de la zona urbana y un 0.8% proviene de la zona semiurbana (Figura 21).

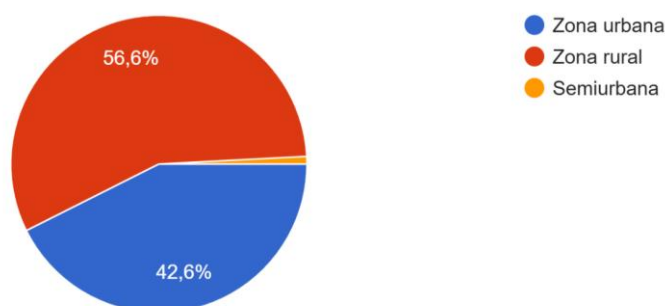


Figura 21. Lugar de residencia de los encuestados.

10.4.1. Conocimiento etnobotánico

La mayoría de las personas encuestadas conocen la planta de árnica en un 98.4% mientras que, el 1.6% no la conoce. Según la encuesta, el árnica se utiliza principalmente como medicina tradicional para aliviar golpes, inflamaciones y heridas. La mayoría de las personas la utilizan preparada farmacéuticamente como pomadas o ungüentos, formando un 46.7%, y un 34.4% dice prepararla en té o infusiones (Figura 22). Es interesante cómo obtuvieron este conocimiento, el 91% dice haber obtenido el conocimiento por medio de familiares, es decir, por la tradición oral que va transmitiendo el conocimiento de generación en generación. El 5.7% dice conocerla gracias a médicos tradicionales o herbolarios, aquellos que son practicantes de la medicina popular y utilizan conocimientos ancestrales. Un 1.6% dice haberla conocido por medio de redes sociales, y de igual manera un 1.6% la conoció en tiendas naturistas.

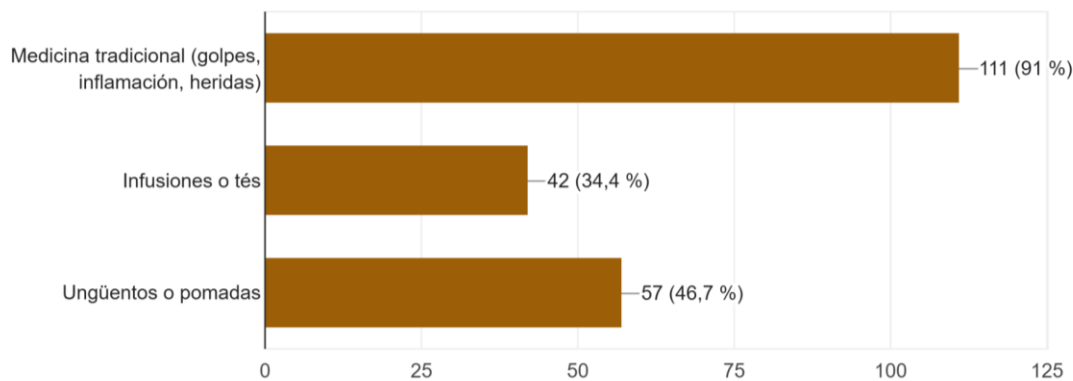


Figura 22. Usos del árnica.

10.4.2. Aspectos agrícolas y propagación

El 45.1% de los encuestados reportó conocer a personas que cultivan árnica en el ámbito doméstico y la recolectan en el campo. En contraste, el 21.3% únicamente reconoció la práctica de recolección en campo, mientras que el 20.5% manifestó desconocer si esta especie se cultiva o se recolecta. Por su parte, el 13.1% indicó que sí se cultiva esta planta medicinal, ya sea en huertos familiares o en parcelas, lo que evidencia la existencia de producción, aunque con un nivel de conocimiento limitado (Figura 23A).

La estacionalidad de la presencia del árnica mostró variaciones entre los encuestados. El 46.7% declaró no saber en qué época del año se presenta, mientras que el 26.2% la asoció con la primavera, caracterizada por el incremento de la temperatura, la floración y el reverdecimiento de la vegetación. El 19.7% señaló que su aparición ocurre en verano, estación reconocida por sus condiciones cálidas; el 5.7% la ubicó en otoño y el 1.6% en invierno (Figura 23B).

En cuanto a los mecanismos de propagación, el 36.9% identificó la reproducción por semillas como la forma más conocida. Sin embargo, el 36.1% manifestó desconocer el método de propagación. Un 14.8% reconoció la propagación mediante esquejes o división de la planta, aspecto relevante para fines de investigación, y el 12.3% señaló el trasplante como estrategia de reproducción (Figura 23C).

Respecto a los ambientes de crecimiento, el 32.8% reportó haber observado árnica en huertos familiares; el 30.3% en pastizales; el 24.6% en bosques templados; y el 12.3% en viveros (Figura 23D).

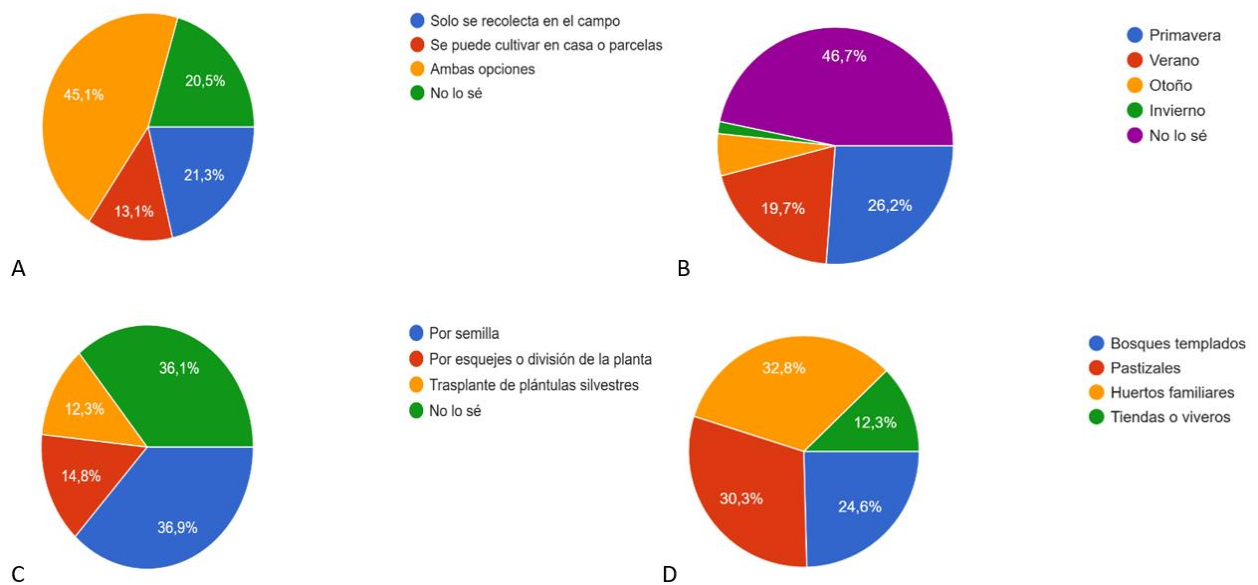


Figura 23. Gráficas de: A) formas de colecta del árnica, B) temporadas de presencia del árnica, C) forma de propagación del árnica, D) lugares donde se ha visto crecer el árnica.

10.4.3. Percepción y relevancia del árnica

La percepción sobre esta planta, un 85.2% considera que el árnica es importante debido a su valor medicinal, lo que sugiere un reconocimiento amplio de sus propiedades terapéuticas. Un 11.5% opina que su importancia radica en su uso agrícola y económico, destacando su valor más allá de lo medicinal. Un 2.5% afirma no saber nada al respecto y un 0.8% no le es importante, una categoría de poca relevancia. Un 54.1%, muestra una inclinación hacia la compra de árnica cultivada, lo que podría reflejar una creciente conciencia en la sociedad sobre la sostenibilidad y conservación de especies silvestres. Un porcentaje considerable, 27.9% indica que depende del costo, mostrando sensibilidad al precio como factor determinante. Un pequeño porcentaje, 9%, no está dispuesto a comprar árnica cultivada y posiblemente prefiera la recolección silvestre. Otro 9% de los participantes no tiene una posición clara al respecto.

Algunos factores que creen que dificultan el cultivo de árnica son: La falta de conocimiento sobre el cultivo de árnica, el 64.8% menciona tener poco conocimiento sobre cómo cultivarla; esto sugiere falta de información y técnicas para el cultivo, siendo la principal barrera percibida. Seguido por el clima y el suelo no adecuados, con un 13.1%, lo que indica que las condiciones ambientales y del terreno son importantes para el establecimiento del cultivo. Igualmente, un 13.1% afirma que el comercio no tiene interés en el árnica. Un 8.2% menciona que la falta de semillas o plántulas disponibles constituye otro problema. Finalmente, el cambio climático representa un 0.8%; no fue seleccionado como una de las principales dificultades, por considerarse un factor poco importante (Figura 24).

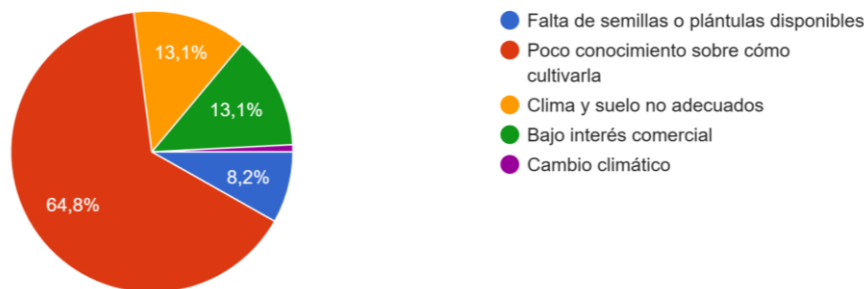


Figura 24. Factores que dificultan el cultivo del árnica.

10.4.4. Preparación y utilización del árnica

En relación con los métodos de preparación del árnica, la mayoría de los encuestados indicó haberla utilizado en forma de infusiones (tés). Algunos mencionaron combinarla con alcohol o aguardiente, dejarla fermentar y posteriormente aplicarla de manera tópica. Otro caso reportado fue la preparación conjunta con tepozán (*Buddleja sessiliflora* Kunth), al hervir ambas plantas y aplicar la decocción sobre la zona afectada. Asimismo, se señaló que el árnica se adquiere principalmente en forma de ungüentos o pomadas, es decir, preparaciones farmacéuticas semisólidas de base grasa destinadas a la aplicación tópica sobre la piel. También se mencionó su disponibilidad en comprimidos. En contraste, un número reducido de participantes declaró no haberla utilizado o desconocer su uso. Respecto a las aplicaciones terapéuticas, los encuestados señalaron emplearla principalmente para el tratamiento de golpes, inflamaciones y heridas superficiales (raspones o cortadas). Además, se reportó su uso en el alivio de dolores musculares, dolores menstruales y piquetes de insectos.

10.4.3. Conservación y propagación

Los encuestados priorizan difundir información referente a árnica, con el objetivo de preservar, propagar, manejar y cuidar desde la siembra hasta la cosecha, sus funciones principales, el gran valor medicinal que tiene, conocer el tipo de suelo que requiere, manejo de sus semillas, conocer sus ciclos fenológicos; todo esto difundido mediante talleres, conferencias, redes sociales, en la educación, capacitaciones, investigaciones. También mencionan realizar la recolección responsable, tenerlas en parques botánicos, tener interés en las plantas medicinales, cuidar el suelo, cultivarlas en zonas de origen, y algunos no tienen una idea de cómo poder conservar y propagar esta planta.

11. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que el sitio de procedencia ejerce una influencia determinante sobre la germinación, el crecimiento vegetativo y la asignación de

biomasa en *Heterotheca inuloides*, lo que sugiere la existencia de respuestas diferenciales asociadas a factores ambientales y, posiblemente, genéticos (Nieto-Ramírez et al., 2018). Esta variabilidad intraespecífica ha sido documentada en otras especies silvestres y medicinales, en las que la procedencia condiciona la calidad fisiológica de la semilla y el desempeño inicial de las plántulas, especialmente en ambientes contrastantes (Andrade Díaz et al., 2013).

Las diferencias observadas en la germinación entre los sitios de colecta no pueden atribuirse únicamente a las condiciones de siembra, dado que el establecimiento se realizó bajo un manejo homogéneo. Por lo tanto, es probable que estas variaciones estén relacionadas con características intrínsecas de la semilla, como su madurez fisiológica, reservas internas y estado de viabilidad, las cuales, a su vez, están influenciadas por el ambiente en el que se desarrolló la planta madre (García-Albarado et al., 2013). En este sentido, la alta germinación registrada en algunos sitios sugiere una mejor calidad fisiológica de la semilla, mientras que los bajos porcentajes observados en otras procedencias podrían reflejar condiciones ambientales restrictivas durante la formación de los aquenios, tales como estrés hídrico, altitud elevada o limitaciones edáficas (Cespedes et al., 2016).

El comportamiento contrastante en las variables morfológicas evaluadas indica que *Heterotheca inuloides* presenta estrategias de crecimiento diferenciadas según su origen. Algunas procedencias favorecieron el desarrollo aéreo, reflejado en una mayor altura de planta, diámetro del tallo y acumulación de biomasa aérea, mientras que otras mostraron una mayor inversión en el sistema radicular (Álvarez y Lara, 2008). Esta diferenciación en la asignación de biomasa puede interpretarse como una respuesta adaptativa al ambiente de origen, donde el desarrollo radicular profundo puede conferir ventajas en condiciones de baja disponibilidad hídrica o en suelos pobres, mientras que una mayor biomasa aérea puede asociarse con ambientes más favorables para la captación de luz y recursos (Bulfe et al., 2016). La variabilidad observada en la longitud y el peso de la raíz refuerza la idea de que el sistema radicular desempeña un papel clave en la adaptación temprana de la especie. Un mayor desarrollo radicular incrementa la capacidad de exploración del sustrato, mejora la absorción de agua y de nutrientes y puede contribuir a una mayor tolerancia al estrés ambiental, lo cual resulta particularmente relevante para especies silvestres con potencial de domesticación (Rojas et al., 2013). Estas diferencias también podrían tener implicaciones importantes para la supervivencia y el establecimiento de las plantas en condiciones de campo, especialmente en sistemas de producción de bajo consumo de insumos (Casas et al., 1997).

En cuanto a la biomasa seca, las diferencias entre procedencias evidencian que la eficiencia en la acumulación de materia orgánica no es uniforme dentro de la especie. La menor producción de biomasa seca observada en algunas procedencias podría estar relacionada

con una menor tasa de fotosíntesis, una asignación preferencial de recursos a estructuras no evaluadas en esta etapa o una respuesta fisiológica al estrés ambiental acumulado desde la fase de germinación (Pérez-Somarriba y Hernández-Fernández, 2022). En contraste, las procedencias con mayor biomasa seca podrían representar materiales con mayor potencial agronómico para programas de propagación y cultivo, especialmente si se considera su posible relación con la producción de metabolitos secundarios de interés medicinal (Contreras, y Renteria, 2004).

La presencia de plagas durante el ensayo, aunque fue controlada, constituye un factor adicional que pudo influir en el crecimiento diferencial de las plantas. Sin embargo, el hecho de que algunas procedencias mantuvieran un desarrollo favorable sugiere una posible variación en la tolerancia o resiliencia frente al daño biótico, aspecto que merece ser explorado en estudios posteriores con un enfoque ecofisiológico (Badi et al., 2015). Desde una perspectiva etnobotánica, los resultados de la encuesta confirman la profunda relevancia cultural del árnica en la región y ponen de manifiesto una contradicción importante: si bien existe un amplio conocimiento tradicional sobre sus usos medicinales, el conocimiento técnico sobre su cultivo y propagación es limitado. Esta brecha entre el uso y el manejo refuerza la pertinencia del presente estudio, ya que la generación de información fenológica y agronómica constituye un primer paso para reducir la presión sobre las poblaciones silvestres y promover esquemas de aprovechamiento sustentable (Bermúdez et al., 2005). En conjunto, los resultados sugieren que *Heterotheca inuloides* presenta un alto grado de plasticidad fenotípica, lo que le permite responder de manera diferenciada a las condiciones ambientales de su sitio de origen. Esta plasticidad representa una ventaja desde el punto de vista de la conservación y de la posible domesticación de la especie, pero también implica la necesidad de seleccionar cuidadosamente las procedencias más adecuadas según los objetivos productivos, ya sea para maximizar la biomasa, favorecer el establecimiento o, potencialmente, incrementar la concentración de compuestos bioactivos (Capparelli et al., 2011).

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo reportado en otras investigaciones que señalan una marcada influencia del sitio de procedencia sobre la germinación y el crecimiento inicial de especies medicinales y silvestres. En *Heterotheca inuloides*, se ha documentado que la calidad fisiológica de la semilla y su capacidad germinativa están estrechamente relacionadas con las condiciones ambientales del sitio de origen, particularmente la temperatura, la altitud y la disponibilidad hídrica durante el desarrollo de la planta madre, lo cual explica la variabilidad observada entre procedencias, aun bajo condiciones de cultivo homogéneas (Nieto-Ramírez et al., 2018). De manera similar, Sugier et al., (2013) demostraron que en especies medicinales del género *Arnica* la procedencia condiciona no solo la germinación, sino también la asignación de biomasa aérea

y radicular durante las primeras etapas de establecimiento, lo que representa una respuesta adaptativa a ambientes contrastantes. Asimismo, estudios realizados en otras especies de interés agronómico, como *Moringa oleifera*, reportan diferencias significativas en altura, número de hojas y vigor de plántula entre procedencias, atribuibles a variación intraespecífica y efectos ambientales del sitio de colecta (Toral et al., 2013). En conjunto, estos antecedentes respaldan que las diferencias observadas en germinación, crecimiento vegetativo y acumulación de biomasa en el presente trabajo responden a una combinación de factores ambientales del origen de la semilla y a la plasticidad fenotípica de la especie, lo que refuerza la importancia de considerar la procedencia como un criterio clave en programas de propagación, conservación y posible domesticación del árnica.

12. Conclusión

En conclusión, el estudio indicó que las semillas recolectadas de *Heterotheca inuloides* Cass. de procedencias diferentes presentan variaciones en sus características de germinación y crecimiento. Se podría decir que a los 94 días después de la siembra se llegó a la etapa de desarrollo vegetativo, no se llegó a la longevidad de la planta; sin embargo, los resultados obtenidos proporcionan información valiosa para su manejo y la conservación de la especie, asegurando su disponibilidad a largo plazo. Además, sugieren que factores ambientales, cómo el clima y el tipo de suelo, influyen en la fenología y el crecimiento del área, dependiendo del sitio de procedencia. La identificación de poblaciones con características deseables, cómo mayor producción de biomasa o contenido de compuestos bioactivos puede ser útil para su producción y venta al mercado. Los sitios A, D, E y F generalmente mostraron tener un desempeño aceptable, en cuanto la germinación, la altura, el diámetro del tallo, el número de hojas, longitud de raíz, peso fresco aéreo, peso fresco radicular, peso seco aéreo y peso seco radicular. Sin embargo, es recomendable profundizar en los estudios del comportamiento morfoagronómico de diferentes procedencias *Heterotheca inuloides* Cass. en base a la explotación en diferentes sistemas de producción y su establecimiento.

13. Referencias

- Alvarado, M. A., Foroughbakhch, R., Jurado, E., y Rocha, A. (2002, diciembre). El cambio climático y la fenología de las plantas. *CIENCIA UANL*, 5(4), 493-500. <http://huertofenologico.filos.unam.mx/files/2017/05/Cambio-climatico-y-fenologia-de-plantas.pdf>.
- Álvarez-Espino, R., Mendoza-González, G., Pérez-Martin, C., y Chiappa-Carrara, X. (2019). Efecto del sitio de procedencia sobre los atributos de las semillas de *Cakile edentula* (Brassicaceae), especie estabilizadora de duna costera. *Botanical Sciences*, 97(1), 74-81. Scielo. DOI: 10.17129/botsci.2050
- Alvarez, C., & Lara, A. (2008). Crecimiento de una plantación joven en fajas con especies nativas en la Cordillera de Los Andes de la provincia de Valdivia. *Bosque (Valdivia)*, 29(3), 181-191.
- Ambriz, A. (2024, diciembre 2). *¿Qué es la fenología y qué importancia tiene en la agricultura?* Eezy gro. Retrieved Agosto 3, 2025, from <https://www.eezygro.com.mx/articulos/que-es-la-fenologia-y-que-importancia-tiene-en-la-agricultura>
- Andrade Díaz, D., Córdoba Figueroa, M. E., Criollo Escobar, H., & Lagos Burbano, T. C. (2013). Evaluación de medios de cultivo para propagación in vitro de semillas y explantes de especies silvestres de *Solanum*. *Acta Agronómica*, 62(1), 27-36.
- Aviles, M., & Fuentes, M. (2004, Julio 18). *Árnica Heterotheca inuloides* Cass. LA JORNADA MORELOS.
- Ázcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2nd ed.). 978-84-481-9293-8
- Badii, M., Landeros, J., & Cerda, E. (2015). Manejo Sustentable de Plagas o Manejo Integral de Plagas: Un apoyo al desarrollo sustentable. *Cultura Científica y Tecnológica*, (23).

Bellos González, M. A. (1988, diciembre). Consideraciones metodológicas para estudios fenológicos en bosques templados de coníferas. *Ciencias Forestal en México*, 13(89-109). Retrieved agosto 1, 2025, from <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1152>.

Bermúdez, A., Oliveira-Miranda, M. A., & Velázquez, D. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. *Interciencia*, 30(8), 453-459.

Bulfe, N., Faustino, L., Pinazo, M., Graciano, C., & Fernández, M. E. (2016). Bases fisiológicas del crecimiento diferencial en la fase inicial del desarrollo de dos progenies de *Pinus taeda* bajo condiciones de campo, en Misiones Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 273-284.

Camacho Morfin, F. (1998, junio). *Germinación y emergencia de dos especies medicinales: Heterotheca inuloides Cass. (Árnica) y Tecoma stans (L.) H.B.K. (Tronadora), en condiciones de laboratorio e invernadero*. Repositorio Institucional UNAM. Retrieved agosto 21, 2025, from https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=pQ8wXB&d=false&q=germinaci%C3%B3n%20Heterotheca%20inuloides&i=1&v=0&t=search_0&as=0

Carmona-Aparicio, L., Cádernaz-Rodríguez, N., y Delgado-Lamas, G. (2019, diciembre 20). Dose-Dependent Behavioral and Antioxidant Effects of Quercetin and Methanolic and Acetonic Extracts from *Heterotheca inuloides* on Several Rat Tissues following Kainic Acid-Induced Status Epilepticus. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019. <https://doi.uaeh.elogim.com/10.1155/2019/5287507>

Capparelli, A., Hilgert, N., Ladio, A., Lema, V. S., Llano, C., Molares, S., ... y Stampella, P. (2011). Paisajes culturales de Argentina: Pasado y presente desde las perspectivas etnobotánica y paleoetnobotánica. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 2(2), 67-79.

Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., y Zárata, S. (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Botanical Sciences*, (61), 31-47.

Cespedes, H. P., Arroyo, H. H. M., Torres, J. J. T., Urrutia, E. C., Moreno, J. C. C., Ampudia, Y. M., y Guardia, M. M. (2016). Propagación y crecimiento inicial del abarco (*Cariniana pyriformis* Miers), utilizando semillas silvestres. *RIAA*, 7(2), 87-97.

CIAT. (1997). *Establecimiento y renovación de pasturas*. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=0WntmVEorQkC&oi=fnd&pg=PA103&dq=Factores+ambientales+que+influyen+en+el+desarrollo+fenol%C3%B3gico&ots=fePdksPf3G&sig=oiFduvwJ2WK3Ht4s_YjGf8ox8s&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Coballase-Urrutia, E., Pedraza-Chaverri, J., & Camacho-Carranza, R. (2010, septiembre 30). Antioxidant activity of *Heterotheca inuloides* extracts and of some of its metabolites. *ELSEVIER*, 276(1), 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2010.06.013>

CONABIO. (2009, Julio 13). *Heterotheca inuloides - ficha informativa*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Retrieved agosto 21, 2025, from <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/heterotheca-inuloides/fichas/ficha.htm#3.%20Identificaci%C3%B3n%20y%20descripci%C3%B3n>

Contreras, F. H. Z., & Rentería, A. A. (2004). Variación de altura y diámetro de plántulas de *Pinus oaxacana* Mirov de tres poblaciones de México. *Foresta Veracruzana*, 6(1), 21-26.

Denny, E. G., Gerst, K. L., Miller-Rushing, A. J., y Tierney, G. L. (2014, January 25). Standardized phenology monitoring methods to track plant and animal activity for science and resource management applications. *International journal of biometeology*. DOI 10.1007/s00484-014-0789-5

Duarte, E. E. R., Schamne, D. R., Domínguez, J., Omar-Niella, F., Keller, H. A., & Rocha, S. P. (2021, Marzo 31). Protocolo de propagación vegetativa de *Hedeoma telyucaensis* especie medicinal endémica en peligro de extinción. *Acta Agronómica*, 70(4), 386-393. Dialnet. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.84972>

Espín Bahena, M. L., Cedillo Portugal, E., & Villaseñor, J. L. (2023, Junio 2). La familia Asteraceae en el municipio Tepoztlán, Morelos, México. *Acta botánica mexicana*, (130). <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2130>

Fretes, F. (2010). *PLANTAS MEDICINALES Y AROMÁTICAS UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN COMERCIAL*. Alejandro Sciscioli. [https://www2.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/d61ca4566182909a032574a30051e5ba/1cfe381c2b67b45003257b960062f6af/\\$FILE/Caja_063_007.pdf](https://www2.aladi.org/nsfaladi/estudios.nsf/d61ca4566182909a032574a30051e5ba/1cfe381c2b67b45003257b960062f6af/$FILE/Caja_063_007.pdf)

Gauna, J. M., Balirán, V., y Giménez, D. (2023). *Propagación de especies nativas*. EDULP. 978-950-34-2342-4

García-Albarado, J. C., Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., Sandoval Pérez, I. A., & Morales Ramos, V. (2013). Propagación de especies herbáceas silvestres con potencial para paisajismo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5), 1043-1047.

Gergoff Grozeff, G. E., Fabiana Ruscitti, M., y Oscar Gimenez, D. (2023). *Introducción a la propagación vegetal De la fisiología a la práctica integrada*. edulp. 978-950-34-2342-4

Google. (2025). https://www.google.com/maps/@20.4853012,-98.5034874,14z?authuser=0&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDkwMy4wIKXMDSOASAFAQAw%3D%3D. Retrieved Agosto 15, 2025, from https://www.google.com/maps/@20.4853012,-98.5034874,14z?authuser=0&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDkwMy4wIKXMDSOASAFAQAw%3D%3D

Habou, R., Serge Felix, Z. C., Tougiani, A., y Damme, P. V. (2022, Abril 13). Development of Vegetative Propagation Strategies for *Balanites aegyptiaca* in the Sahel, Niger. *International Journal of Forestry Research*, 2022(1). Wiley. <https://doi.uaeh.elogim.com/10.1155/2022/5110018>

INEGI. (2022). *Aspectos geográficos de Veracruz de Ignacio de la Llave*. Inegi. Retrieved Agosto 8, 2025, from https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463914228.pdf

INEGI. (2025, Junio 1). *Huayacocotla, Veracruz de Ignacio de la Llave (30072)*. INEGI. Retrieved Agosto 8, 2025, from <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=070000300072#collapseResuen>

Kulkarni, M.G., Street, R.A., & Van Staden, J. (2009, septiembre 14). Germination and seedling growth requirements for propagation of *Dioscorea dregeana* (Kunth) Dur. and Schinz — A tuberous medicinal plant. *ScienceDirect*, 131-137. ELSEVIER. 10.1016/j.sajb.2006.09.002

Mejía Gutiérrez, M. (1990). FENOLOGIA: FUNDAMENTOS Y METODO. In *FENOLOGIA: FUNDAMENTOS Y METODO* (pp. 65-69). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/30663/28227_18362.pdf;jsessionid=19208F535E1BA2CDDF7107A34733C832?sequence=1

Mérola, R., & Díaz, S. (2012). *Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir dormancia en semillas de plantas forrajeras*. Francisco Soca 1110, Montevideo, Uruguay. Retrieved julio 25, 2025, from <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12563/1/Pasantia-Post-grado-Merola-Saulo-Diaz-2012.pdf>

Mitzy Eunice, O. G. (2013). *Uso alternativo del árnica montana y la árnica mexicana (heterotheca inuloides) como antiinflamatorio y analgésico en pacientes sometidos a cirugías de terceros molares*. Repositorio UNAM. Retrieved septiembre 2, 2025, from <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2013/abril/0692117/0692117.pdf>

Muñoz Ruiz, E. O., Hoyos Méndez, Y. C., y Hernán Calambás, F. (2010). HEPATOTOXICIDAD ASOCIADA AL CONSUMO DE ÁRNICA. *Revista Facultad Ciencias de la Salud: Universidad del Cauca*, 12(1), 44-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5816962>

Nieto Ramírez, M. I., García Trejo, J. F., Caltzontzin Rabell, V., Chávez Jaime, R., & Estrada Sánchez, M. D. L. L. (2018). Efecto de las condiciones de cultivo en la producción de fenoles, flavonoides totales y su capacidad antioxidante en el árnica (*Heterotheca inuloides*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE21), 4296-4305.

Osuna-Fernández, H. R. (2017). *Propagación por semilla de árnica mexicana (Heterotheca inuloides Cass) e hinojo (Foeniculum vulgare p. mill)*. Repositorio UNAM. Retrieved agosto 22, 2025, from <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2017/octubre/0766189/0766189.pdf>

Pérez García, & Pita Villamil. (2016). *DORMICIÓN DE SEMILLAS*. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Castilla y León y Cantabria. Retrieved Julio 25, 2025, from https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1999_2103.pdf

Pérez García, F., & Pita Villamil, J. (2016). *VIABILIDAD, VIGOR, LONGEVIDAD Y CONSERVACIÓN DE SEMILLAS*. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Castilla y León y Cantabria. Retrieved Julio 25, 2025, from <https://www.coiaclc.es/wp-content/uploads/2016/05/Viabilidad.pdf>

Pérez-Nasser, N., Martínez-Cruz, J., & LiNdíg-Cisneros, R. (2019). *Manual de prácticas de propagación de especies nativas*. Google academic. <https://doi.org/10.22201/enesmorelia.001b.2019>

Pérez-Somarriba, E. B., & Hernández-Fernández, G. (2022). Efecto de densidades de siembra en el desarrollo fenológico-productivo del Cultivo de Maíz (*Zea Mays*) en camas Biointensivas. *Revista iberoamericana de bioeconomía y cambio climático*, 8(15), 1876-1885.

Rodríguez Chávez, J. L. (2015, diciembre). *AISLAMIENTO, DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA MOLECULAR, BIOEVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA MOLECULAR Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS COMPUESTOS NATURALES PRESENTES EN HETEROTHECA INULOLIDES (Cass)*. Repositorio UNAM. Retrieved septiembre 25, 2025, from <https://repositorio.unam.mx/contenidos/72833>

Romero Rangel, D. V. (2022, agosto 22). Protocolo de propagación por semilla de *Gentiana spathacea* kunth. *Repositorio institucional DGBSDI-UAQ*. Retrieved octubre 1, 2025, from <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/8704/1/RI007607.pdf>

Rojas, J. A., Colmenares, M. R., Hernández, E. G., Madriz, P., Figueroa, R., & Mantilla, J. E. (2013). Comparación de la biomasa de dos cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) de distintos orígenes, plantados en Chirgua, estado Carabobo, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 39-49.

Salazar Cervantes, G. (2016, agosto). *CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE METABOLITOS SECUNDARIOS PRESENTES EN DOS POBLACIONES DE*

Heterotheca inuloides. DETERMINACIÓN ESTRUCTURAL DE PRODUCTOS NATURALES NOVEDOSOS. Repositorio UNAM. Retrieved septiembre 25, 2025, from <https://repositorio.unam.mx/contenidos/97885>

Sánchez, G., y Riat, M. (2021, junio). PROPAGACIÓN POR SEMILLAS Y CULTIVO EN MACETA DE *Valeriana carnos* SM. (VALERIANOIDEAE, CAPRIFOLIACEAE) EN SAN CARLOS DE BARILOCHE. RÍO NEGRO. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 20(1), 205-218. Scielo. Retrieved Octubre 1, 2025, from https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S166677192021000100205&script=sci_abstract&tlng=en

Schwartz, M. (2013). *Phenology: An Integrative Environmental Science* (2nd ed.). Mark D. Schwartz. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0>

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2018, May 30). *¿Cómo saber que tan viable es una semilla?* Gob MX. Retrieved July 25, 2025, from <https://www.gob.mx/snics/articulos/como-saber-que-tan-viable-es-una-semilla?idiom=es>

Silva-Castellanos, A. P., Magallán-Hernández, F., Vergara-Pineda, S., Ramírez-Segura, O., y Queijeiro-Bolaños, M. (2021, agosto 15). PROTOCOLO DE PROPAGACIÓN POR SEMILLA *Declinopodium mexicanum*, UNA PLANTA MEDICINAL NATIVA DE MÉXICO. *AGROCIENCIA*, 55(3), 433-450. Google académico. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i5.2519>

Sombra Argüelles, V. I. (2015, noviembre). *Influencia del riego, el sustrato y la fertilización sobre el desarrollo y la concentración de flavonoides en árnica (Heterotheca inuloides Cass.)*. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. Retrieved agosto 27, 2025, from https://www.researchgate.net/publication/309550243_Influencia_del_riego_el_sustrato_y_la_fertilizacion_sobre_el_desarrollo_y_la_concentracion_de_flavonoides_en_arnica_Heterotheca_inuloides_Cass

Sugier, D., Sugier, P., y Gawlik-Dziki, U. (2013). Propagation and Introduction of *Arnica montana* L. into Cultivation: A Step to Reduce the Pressure on Endangered and High-Valued Medicinal Plant Species. *The Scientific World Journal*, 2013(1), 414363.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *FISIOLOGIA VEGETAL* (Vol. 1). 978-84-8021-599-2

Tomas, O. (2022, diciembre). *Evaluación de dos materiales de orégano europeo (Origanum vulgare), romero (Rosmarinus officinalis), ajenjo (Artemisia absinthium) y melisa (Melissa officinalis), en el marco de la Red de cultivos aromáticos del sudoeste bonaerense*. Repositorio de la UNAM. Retrieved agosto 2, 2025, from <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/6280/ORTE%20Tomas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Toral, O., Reino, J., Santana, H., & Cerezo, Y. (2013). Caracterización morfológica de ocho procedencias de *Moringa oleifera* (Lam.) en condiciones de vivero. *Pastos y Forrajes*, 36(4), 409-416.

Torres Poot, C. A. (2024). *EFECTO DEL CULTIVO DE ÁRNICA SOBRE EL SUELO Y LA SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TRADICIONALES DE LA MICROCUENCA LA JOYA*. <https://ring.uaq.mx/bitstream/123456789/9897/1/CNMAC-309438.pdf>

Uwe Meier. (2018). *Etapas de desarrollo de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas*. Uwe Meier. 10.5073/20180906-075743

Valera, S., y Arana, V. (2010, junio 3). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. *INTA*, 10. Retrieved julio 25, 2025, from <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Latenciaygerminaci%C3%B3ndesemillas.pdf>

Yzarra Tito, W. J., y López Ríos, F. M. (2011). *MANUAL de OBSERVACIONES FENOLÓGICAS*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>

Zapata, R., y Azagra, a. (2017, enero 18). Tratamientos pregerminativos para la ruptura de la dormición en semillas de tres. *Bosque (Valdivia)*, 38(2), 237-245. 10.4067/S0717-92002017000200002