

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA
UNIDAD ACÁDEMICA HERMOSILLO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES



TESIS

EVALUACIÓN DE LA SUPERVIVENCIA DEL PALO BLANCO (*Ipomoea arborescens*) EN CONDICIONES NATURALES UTILIZANDO DIVERSAS TECNICAS DE ESCARIFICACIÓN

PRESENTA:

LIC. EN BIÓL. ALICIA ELIZABETH ALVAREZ MARTINEZ

HERMOSILLO, SONORA

SEPTIEMBRE, 2025

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA
UNIDAD ACADÉMICA HERMOSILLO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

T E S I S

EVALUACIÓN DE LA SUPERVIVENCIA DEL PALO BLANCO (*Ipomoea arborescens*) EN CONDICIONES NATURALES UTILIZANDO DIVERSAS TÉCNICAS DE ESCARIFICACIÓN

COMITÉ REVISOR

Director

Co-director

Dr. Daniel Morales Romero

Dra. Diana Miriam Mc Caughey Espinoza

Secretario

Vocal

Dra. Carmen Isela Ortega Rosas

Dr. Octavio Cota Arreola

Hermosillo, Sonora

septiembre, 2025

AGRADECIMIENTOS

Con gratitud, deseo dedicar estas palabras a todas las personas y entidades que, de una u otra manera, hicieron lo posible la culminación de este proyecto de investigación. En primer lugar, quiero agradecer al Dr. Daniel Morales Romero y la Dra. Diana Miriam Mc Caughey Espinoza por su dedicación, paciencia y experiencia, estas fueron fundamentales en cada etapa y al resto de mi comité. Sus observaciones, críticas y su orientación constante me permitieron enriquecer el contenido y la calidad de esta investigación, por lo que siempre les estaré intensamente agradecida.

Agradezco especialmente a la Dra. Diana Miriam Mc Caughey, por apoyarme desde la licenciatura, quien siempre me apoyó tanto directa e indirectamente en mi desarrollo profesional y personal. Sin ella no hubiera llegado a donde estoy ahorita.

A la Universidad Estatal de Sonora por haberme dado la oportunidad de estar en el programa de maestría, no solo fortaleció mi formación académica, sino también que contribuyó de manera significativa mi crecimiento personal, desarrollando habilidades, valores y una visión amplia del ambiente formativo que caracteriza esta universidad.

Agradezco también a la Universidad de Sonora, concretamente al laboratorio de Cultivo de Tejidos, que me brindó el espacio, los recursos y las herramientas necesarias para llevar a cabo mi proyecto académico. Es necesario reconocer la apreciable colaboración de los servicios académicos, administrativos y técnicos, quienes me apoyaron con gestiones importantes y siempre demostraron su disposición para ayudar.

Asimismo, mi gratitud a mis compañeros y amigos, con quienes compartí experiencias inolvidables durante este trayecto. Sus ideas, debates y apoyo me ayudaron a superar los desafíos y a mantenerme enfocada en la meta final.

A mi familia, amigos y novio, cuyo cariño, amor y respaldo incondicional fueron mi principal fuente de motivación y fortaleza. A todos ustedes, gracias por creer en mí y por estar presentes en cada paso de este camino.

Por último, pero no menos importante, a CONAHCYT por brindarme el apoyo económico para hacer este trabajo posible.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada, en primer lugar, a la Dra. Diana Miriam Mc Caughey Espinoza, cuya guía y apoyo a lo largo de este proceso académico han sido invaluables. Su conocimiento, paciencia y constante motivación me inspiraron a superar cada reto y a lograr este importante objetivo. Le agradezco profundamente por creer en mí y por su compromiso incondicional con mi desarrollo profesional y personal. Por su apoyo emocional durante las situaciones complicadas durante la estancia.

A mis compañeros de maestría, con quienes compartí momentos inolvidables de aprendizaje y crecimiento, les dedico también este logro. Cada experiencia vivida juntos me permitió enriquecer no solo mi formación académica, sino también mi vida personal.

A mi querida mejor amiga de vida, Grecia Siraitare, cuyo respaldo y amistad inquebrantable me dieron la fuerza necesaria para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Tu compañía fue una fuente constante de ánimo y alegría.

A mi papá, quien con su apoyo económico hizo posible que cursara este grado académico. Su esfuerzo y sacrificio fueron esenciales para que pudiera alcanzar esta meta, y siempre le estaré agradecido por ello.

A mi mamá, por su amor y apoyo incondicional. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome palabras de aliento y creyendo en mí en todo momento. Sin su fuerza y comprensión, este logro no habría sido posible.

Y, por último, a una persona especial que es mi compañero, amigo, hermano, confidente, y ahora novio, con quién en toda mi formalización académica desde preparatoria al día de hoy, me ha acompañado tanto directa como indirectamente, Adal, gracias.

CONTENIDO

CONTENIDO	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLA	9
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
MARCO TEÓRICO	14
Afectación por Actividades Antropogénicas	14
Las Plantas Nativas	15
Usos Medicinales	16
Descripción del Género <i>Ipomoea</i>	17
Descripción de <i>Ipomoea arborescens</i>	17
Distribución y Hábitat	19
Tratamientos Pregerminativos	20
Escarificación mecánica	20
Escarificación química	21
Escarificación física	21
Calidad de la semilla	22
Fertilidad del Suelo	22
Condiciones Climatológicas	23
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
JUSTIFICACIÓN	26
HIPÓTESIS	27
OBJETIVOS	28
Objetivo General	28
Objetivos Específicos	28
METODOLOGÍA	30
Especie en Estudio	30
Sitio de Estudio	31
Área Seleccionada	32

Tratamiento Pregerminativo	32
Escarificación química.....	32
Escarificación mecánica	33
Escarificación física:	33
Siembra	33
Análisis de Suelo	34
Toma de muestras	34
Análisis fisicoquímicos de suelo.....	34
Mediciones Climatológicas.....	34
Porcentaje de Germinación <i>in situ</i>	34
Análisis Estadístico.....	36
RESULTADOS	37
Tratamientos Pregerminativos	37
Fertilidad del Suelo.....	39
Mediciones Climatológicas.....	43
Porcentaje de Germinación <i>in situ</i>	47
Sobrevivencia al trasplante <i>in situ</i> a los 30 días	49
DISCUSIONES	52
Tratamiento Pregerminativo	52
Fertilidad del Suelo.....	53
Mediciones Climatológicas.....	57
Porcentaje de Germinación y Sobrevivencia de Trasplante <i>in situ</i>	58
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
LITERATURA CITADA	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: A) Flores y B) hojas y cápsulas.	18
Figura 2. Distribución de la especie del palo blanco. Imagen obtenida: naturalista.	19
Figura 3. Representación de la especie del palo blanco (<i>Ipomoea arborescens</i>).	30
Figura 4. Mapa del municipio de Hermosillo, Sonora. Sitio de estudio marcado con un punto rojo.	31
Figura 5. A) cápsulas de palo blanco. B) semilla del palo blanco.	32
Figura 6. Tratamientos mecánicos (escarificación lija y escarificación drill); tratamientos químicos (H_2O_2 ; HCl 3min y 1min; H_2SO_4 3min y 1min) y tratamiento físico (embebidas).	38
Figura 7. Temperatura (líneas) y precipitación (barras) en Hermosillo, Sonora, México. Informe de dos periodos: 1992-2021 (a) y 2022-2024 (b) (CONAGUA, 2023).	44
Figura 8. Porcentaje de germinación de palo blanco (<i>Ipomoea arborescens</i>).	47
Figura 9. Germinación a los 3 días de palo blanco (<i>Ipomoea arborescens</i>) escarificada.	48
Figura 10. Plántula de palo blanco (<i>Ipomoea arborescens</i>) a los 15 días de sobrevivencia.	49
Figura 11. Plántula de palo blanco (<i>Ipomoea arborescens</i>) a los 30 días de sobrevivencia.	50

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Tratamientos pregerminativos de la semilla.	39
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de estudio.	41
Tabla 3. Bases de cationes intercambiables.	43
Tabla 4. Porcentaje de humedad relativa periodo 2022-2023 de Hermosillo, Sonora....	46

RESUMEN

En las últimas décadas, el palo blanco (*Ipomoea arborescens*) ha enfrentado diversas limitaciones en su autopropagación debido a actividades antropogénicas como lo es la minería, actividades agropecuarias, tala ilegal, etc. Dicho lo anterior, resulta de gran importancia la exploración de la germinación y la supervivencia *in situ* de esta especie. En este trabajo se evaluaron diversas técnicas de escarificación (mecánica, física y química), se analizaron las propiedades físico-químicas del suelo en zonas de crecimiento, el clima de la zona de estudio y, por último, se estimó la germinación y la supervivencia *in situ*. Los resultados obtenidos indican en promedio un porcentaje de germinación con escarificación mecánica del 97.9%, física del 22.6% y química del 38.11%; Con el análisis estadístico ArcSen aplicado, mostraron diferencias significativas con $F<0.001$ entre los tratamientos. El análisis estadístico de suelo con Tukey-Kramer indicó niveles bajos de materia orgánica y concentraciones de fertilidad estandarizada y representativa de los suelos de regiones semiáridas con diferencias significativas. Las condiciones climáticas representaron un comportamiento con inviernos moderadamente fríos con una mínima de 5°C, mientras que las máximas de verano hasta los 38°C; la precipitación acumulada fue de 25.18mm, mostrándose seco y caluroso, reflejando la aridez de la región. La germinación *in situ* reveló 80% en semillas escarificadas mecánicamente con drill, mientras que sin escarificar la germinación alcanzó solamente el 12%. Los resultados del trasplante *in situ* a los 15 días posteriores indican un porcentaje de sobrevivencia del 100% y un 98% a los 30 días. En conclusión, para actividades de conservación *in situ*, se recomienda aplicar técnicas de escarificación manual.

Palabras clave: autopropagación, escarificación, , germinación, sobrevivencia, *in situ*.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Sonora, México, se han observado cambios significativos en la estructura de los hábitats naturales. El estado de Sonora, se reconoce como el más afectado por la deforestación a nivel nacional (CONAFOR, 2014). Los datos disponibles sugieren que entre el 2010 y 2015, sufrió una pérdida de aproximadamente 25,000 hectáreas derivadas de la actividad minera y pecuaria (Padilla, 2018), principalmente por la minería a cielo abierto, que destaca como el principal factor, además de la ganadería (Pequeño-Ledezma et al., 2012). Sin embargo, no hay estudios suficientes sobre el estatus de las plantas nativas en cuanto a su estado de conservación (Castellanos et al., 2010).

A nivel global, la preservación de la biodiversidad ha sido afectada por diversas actividades antropogénicas, lo que ha ocasionado una pérdida de ecosistemas mediante la deforestación (Blakesley et al., 2002), el sobrepastoreo (Alfonsín y Bucetto, 2019), la degradación del hábitat, la expansión urbana, la agricultura y la ganadería (Bokkestijn, 2017; Fuentes, 2020). Estas actividades son las principales causas del deterioro de los ecosistemas que proporcionan servicios socioeconómicos importantes como lo son las plantas nativas (Stafford-Smith y Reynolds, 2002; MEA, 2005).

La conservación de especies nativas constituye un reto importante. Estas especies juegan un papel crucial en el equilibrio de los ecosistemas (Colunga y Villareal, 2006; Argüeyes, 2008). La diversidad de la flora nativa en el estado de Sonora no solo fortalece comunidades locales, sino que también está relacionada a la protección y gestión sostenible de los recursos naturales (De Fries et al., 2005). Dado lo anterior, las plantas nativas de la región requieren de técnicas viables que aceleren el proceso de rehabilitación en áreas degradadas, ya que el proceso en condiciones naturales es considerablemente lento e inseguro (Castellanos et al., 2005).

A pesar de que se han realizado esfuerzos para buscar soluciones a estas dificultades, las actividades antropogénicas han demostrado ser escasas para restaurar el equilibrio en la biodiversidad, según lo informado por la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCBD, 2014). La degradación de los hábitats y el aprovechamiento de recursos

han llevado a que muchas especies nativas estén en peligro o al borde de la extinción, lo que amenaza la riqueza biológica. La solución para compensar la degradación de los zonas dañadas ha obtenido bajas respuestas; por ello, se propone la implementación de programas de restauración con especies nativas (Celaya-Michel et al., 2019).

Investigar los recursos forestales nativos es esencial para incluirlos en procesos de producción sostenible, mejorando así la calidad de vida de las comunidades locales (Francis, 2000; Muñoz et al., 2011; Apráez et al., 2017). Sin embargo, en el estado de Sonora, la información sobre la especie del palo blanco (*Ipomoea arborescens*) y sus interacciones ecológicas es escasa. Los procesos de germinación *in situ* resultan muy poco conocidos como para poder proponer métodos de reforestación en lugares con altos niveles de desertificación provocados por diversas actividades antropogénicas. Dado lo anterior, es inevitable la investigación de sus condiciones óptimas para el proceso de aceleración de germinación de semillas, así como la fertilidad de suelo y el clima en el que se desarrolla esta especie (Carranza, 2004).

Dado que la mayoría de las especies vegetales no pueden recuperarse por sí mismas una vez que se vean afectadas, es necesario el apoyo externo como lo es la restauración (McDonald et al., 2016). La reforestación con flora nativa a partir de semillas permite la recuperación de comunidades vegetales en zonas impactadas, preservando así el banco de germoplasma y mejorando la adaptación de las plántulas a condiciones naturales (Ochoa, 2019). Esto aumenta la posibilidad de tener éxito en las actividades de restauración (Arraiga et al., 1994). Para lograrlo, es fundamental comprender el comportamiento de las especies desde sus primeras etapas de vida, como lo es la germinación (Vargas et al., 2014).

El uso de enfoques tecnológicos para la restauración de la cobertura vegetal se muestra como una solución viable (Castillo, 2018). La evaluación de tratamientos pregerminativos y la germinación de *Ipomoea arborescens* mediante técnicas de escarificación podría desempeñar un papel importante en este proceso. Sin embargo, se reconoce que la semilla tiene un alto porcentaje de viabilidad (Alvarez-Martínez et al., 2024), lo que serviría como

un indicativo de que la semilla no presenta problemas para germinar. Además, la medición de la calidad de las semillas es crucial para el éxito de siembra (Ruiz, 2009), considerando el uso de tratamientos pregerminativos.

El objetivo principal de esta investigación es explorar la germinación y supervivencia de *Ipomoea arborescens* tanto en condiciones controladas como en su hábitat natural explorando técnicas de escarificación en semillas. Al considerar la importancia de las especies nativas y aplicando enfoques de conservación, en este trabajo se busca proporcionar conocimientos para la toma de decisiones en propuestas para reforestación y la administración de biodiversidad en regiones afectadas, permitiendo la propagación y el uso de esta especie en actividades de rehabilitación de hábitat impactados por actividades antropogénicas.

MARCO TEÓRICO

En el Estado de Sonora, México, se han llevado a cabo varios estudios de supervivencia en especies endémicas para comprender mejor su capacidad de reproducción y su conservación. Entre los conflictos que se han presentado en los últimos 20 años, es la alta demanda de actividades antropogénicas, las cuales año tras año están afectando la cobertura vegetal lo que ha generado la pérdida de especies nativas importantes.

Afectación por Actividades Antropogénicas

En Sonora, se mantienen actividades económicas importantes como la agricultura, ganadería, pesca y minería. La minería a cielo abierto ha generado impactos irremediables en los ecosistemas vegetales, como la erosión, fragmentación y contaminación del suelo, lo que afecta a la fauna y entornos, principalmente debido a cambios de uso de suelo y la remoción de tierra (Mc Caughey et al., 2018). El sobrepastoreo también contribuye a la pérdida de suelo y erosión, lo que aumenta las pérdidas de vegetación nativa y la capacidad del suelo para mantener su fertilidad, afectando el crecimiento de las plantas (Reyes, 2001; Flores et al., 2018).

La disminución de la cobertura vegetal ha impactado en diversas especies, tal es el caso del palo blanco (*Ipomoea arborescens*). Los efectos negativos en esta especie han provocado la pérdida de servicios ambientales, como la absorción de contaminantes, y ha favorecido la provocación de incendios forestales y la explotación de tala ilegal de árboles. Según datos del INEGI (2016), la deforestación en Sonora ha afectado más de 1500 hectáreas, de las cuales solo 500 hectáreas han sido reforestadas, siendo un progreso insuficiente en áreas como el municipio de Hermosillo, Sonora.

El uso continuo de maquinarias agrícolas en la región ha provocado la expansión de pastizales y praderas para actividades ganaderas, donde el palo blanco se utiliza como fuente de alimento.

El género *Ipomoea* destaca por su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y edáficas (Carranza, 2004). Sin embargo, en Sonora, la falta de registros precisos sobre *Ipomoea arborescens* y su relación con las variables ambientales reitera la importancia de su estudio.

Las Plantas Nativas

Las plantas nativas, son aquellas que han evolucionado y se han adaptado a condiciones del clima y suelo, en lugares concretos antes de la llegada de la civilización, siendo esenciales para vivir en conformidad con la naturaleza (Guerra, 2018). En actividades de restauración, especialmente en zonas tropicales, las semillas de plantas nativas juegan un papel clave, ya que contienen el material genético necesario para rehabilitar comunidades vegetales en áreas degradadas (Ochoa, 2019). Estas plantas no solo contribuyen a la conservación, sino que también ofrecen beneficios como la reducción de temperatura, atenuación del ruido y el viento, la recuperación del paisaje, y la creación de barreras naturales como el polvo (Navarro y Moreno, 2016). Además, a lo largo de la historia, los seres humanos han dependido de las plantas como alimentación, regulación del clima, conservación de la calidad del aire y del agua (Haines-Young y Potschin, 2010), y el uso medicinal (Srivastava y Rauniyar, 2020).

Sin embargo, la biodiversidad enfrenta retos, como la pérdida de hábitats naturales, la contaminación, el cambio climático y la introducción de especies exóticas, poniendo en riesgo a las especies nativas. Para preservar la biodiversidad, es necesario conservar al menos el 17% de la superficie terrestre (Pimm et al., 2014). En México, la Estrategia Nacional sobre Especies Exóticas Invasoras (ENEEI) es clave para prevenir la propagación de especies invasoras, aunque enfrenta dificultades como la falta de recursos y coordinación (Born-Schmidt et al., 2017). El uso de plantas nativas en jardines y entornos urbanos, atribuyen a parar la pérdida de cobertura vegetal y fomentar la biodiversidad local (Tallamy, 2020).

La polinización, que ha sido afectada por la fragmentación de hábitats, es necesaria para la supervivencia de las plantas nativas (Aizen et al., 1994). Para compensar la disminución de polinizadores en áreas urbanas, el uso de plantas nativas en zonas urbanas permite ayudar a recuperar ecosistemas locales (Tallamy, 2020). Además, la investigación de especies nativas como el palo blanco, que forma parte de una familia medicinal con escasa información, es crucial para enriquecer el conocimiento científico y fortalecer la conservación de la biodiversidad (Díaz et al., 2021).

Usos Medicinales

Ipomoea arborescens, un árbol perenne, es valorado tanto por su uso ornamental como por sus propiedades medicinales (Carranza, 2008), principalmente en la región mixteca, donde sus partes flores, hojas, tallos y corteza se han utilizado para tratar problemas cutáneos, reumatismos, caídas y parálisis, así como para aliviar la alopecia y picaduras de alacrán. Los guarajíos y mayos también lo utilizan como remedio para mordeduras de serpiente, dolor de muelas y picaduras de escorpión. Su extracto tiene propiedades diuréticas, lo que ayuda a reducir inflamaciones en el vientre, ovarios y pies (León et al., 2006), como también para aliviar la tos y el dolor de oído. Las semillas secas, se utilizan para preparar té para tratar el frío corporal, la ansiedad y la retención de líquidos (Felger et al., 2012).

El género *Ipomoea* ha sido utilizado en diversas culturas como tratamiento para trastornos del sistema nervioso, como la epilepsia y la ansiedad. En México, *Ipomoea carnea* ha sido utilizada como antioxidante, anticancerígeno, etc. (Singla et al., 2021). Por otro lado, estudios han demostrado que otras especies del mismo género como *Ipomoea cairica* y *Ipomoea batatas* contienen antioxidantes con potencial terapéutico contra enfermedades como el estrés oxidativo, diabetes, hipertensión y cáncer (Srivastava y Shukla, 2015; Mohanraj y Sivasankar, 2014). También, *Ipomoea hederifolia* ha mostrado compuestos para aplicaciones terapéuticas, como alcaloides y flavonoides (Hossain et al., 2022).

A pesar de las propiedades medicinales relacionadas al palo blanco, su eficacia aún no cuenta con respaldos científicos.

Descripción del Género *Ipomoea*

El género *Ipomoea* tiene una extensa diversidad, incluyendo desde plantas herbáceas perennes, árboles y arbustos. Cada uno de estos tiene características especiales que se diferencian en los tallos, hojas, y pelusa. Además, las hojas en sí muestran varias diferencias, incluso en la misma planta. Pueden tener peciolos o ser una lámina completa o dividida en lóbulos. Algunas tienen formas que parecen a una mano abierta o una hoja de helecho, teniendo una alta gama de tamaños y formas (Austin et al., 2005).

En base a las flores, pueden tener diferentes formas, como racimos, pueden ser de grupo pequeño o incluso de uno solo. Pueden ser simples o estar compuestas. A veces, en un solo grupo, hay diferentes tipos de flores. Los sépalos, se localizan en la base de la flor, generalmente son cinco y no siempre son del mismo tamaño. La parte coloreada de la flor, llamada corola, puede tener la forma de un embudo o una campana, y puede ser de varios colores y tener o no pelusa (Carranza, 2004).

En cuanto a los filamentos, son como tallos delgados que sostienen partes polvosas de la flor, están unidos en la base de la corola. Tienen pequeñas glándulas peludas en la base. Cuando las flores se convierten en frutos, estos son cápsulas redondas. Dentro de ellas, puede haber entre una y seis semillas, que pueden ser lisas o tener pelusa. En los lados de las semillas, a menudo hay pelos largos. México cuenta con alrededor de 160 tipos diferentes de estas plantas en el género *Ipomoea*, lo que hace que sea el grupo más grande dentro de la familia Convolvulaceae (Carranza, 2004).

Descripción de *Ipomoea arborescens*

Ipomoea arborescens es un árbol de gran tamaño, con una altura que puede alcanzar hasta los 15 metros y un tronco que mide entre 30 y 60 centímetros de diámetro.

Se puede encontrar de manera natural en hábitats de matorrales y montañas secas, arbustos xerófitos o pastos (Alcocer y Bernal-Brooks, 2010) en elevaciones que varían desde los 50 hasta los 2400msnm. Este árbol crece en diversas zonas, como bosques espinosos abiertos, bosques tropicales secos y sabanas secas. Además, se ha cultivado en jardines y parques, cercas de potreros o bien, se ubica en los bordes de parcelas, como se ha documentado en estudios de McPherson (1981) y en informes del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBUNAM) (IBUNAM, 2019).



Figura 1: A) Flores y B) hojas y cápsulas.

Las hojas del palo blanco son ovaladas y pubescentes en ambos lados, miden entre 3 y 8 cm de ancho y de 8 a 20 cm de largo, con 8 a 15 venas laterales en cada lado. Los pecíolos son delgados y tienen una longitud de 2 a 7 cm. Las flores aparecen antes de que las hojas broten y se presentan en inflorescencia terminal y axilar, compuestas de 1-3 flores con forma de racimo que nacen de ramillas cortas. A veces, solo una flor de cada grupo está abierta. Las flores aparecen antes que las hojas. Los sépalos son ovalados, elípticos, redondeados, a veces mucronados, tomentosos, glabrescentes de 6 a 10 mm de largo, con pelos en el exterior y en el interior. La corola es carnosa de color blanca con verde y cuello

rojo. Tiene forma subcampanulada a imbuida, con un tubo de 4 a 5 cm de longitud. La cápsula, ovoides, glabras, brevemente rostradas, miden entre 15 y 22 mm de largo y consta de cuatro válvulas. Las semillas miden de 9 a 16mm de largo, con margen de pelos blanco-pilosos de 12 mm de largo (Shreve y Wiggins, 1964; Wood et al., 2020).

Distribución y Hábitat

Esta especie se encuentra en laderas de grava o rocosas, desde la zona baja de Sonora hasta áreas tropicales, abarcando desde Sonora hasta Morelos, Veracruz y El Salvador en el continente americano (figura 2).

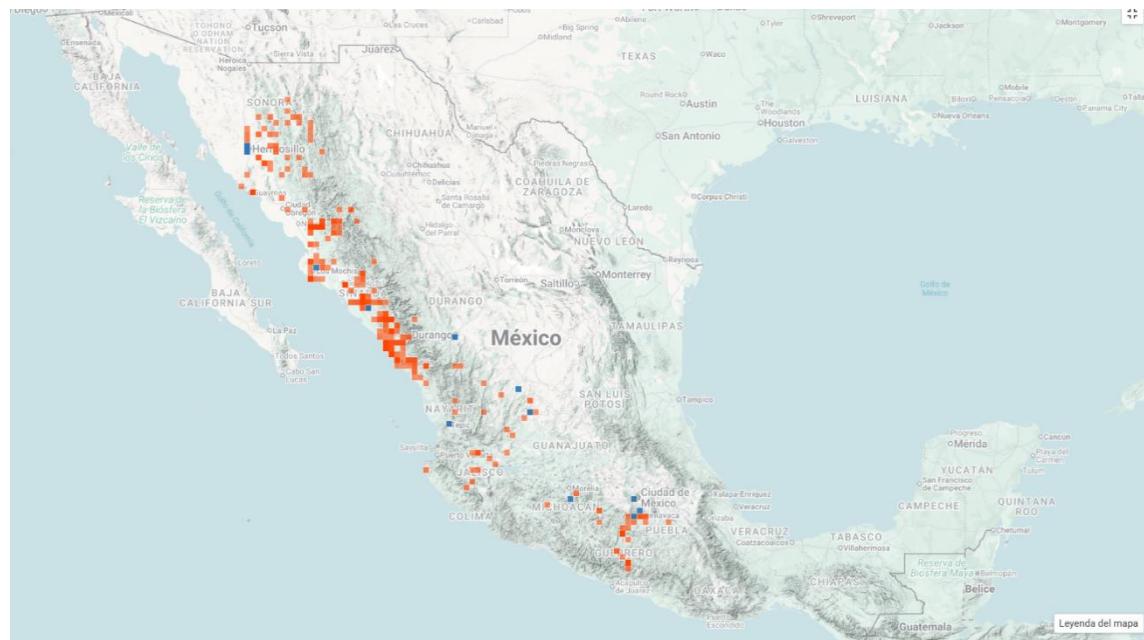


Figura 2. Distribución de la especie del palo blanco. Imagen obtenida: naturalista.

Este árbol, se encuentra en Sonora, en elevaciones que varían entre los 600 y 2400msnm. Aunque se ha observado con menor frecuencia al norte del río Sonora, tiende a ser más común hacia el sur. En el municipio de Hermosillo, se extiende hacia las áreas limitadas del sur del desierto de Sonora (norte de Hermosillo) (Felger et al., 2012). Su relevancia reside en su papel como fuente de alimento para ganado. Los ganaderos, incorporan el palo blanco en la dieta del ganado al molerlo, atestiguando su consumo. Además, cabe mencionar que su importancia se extiende hasta otros países, como Guatemala, El Salvador, Senegal y Zimbabue, donde también tiene un impacto significativo.

El hábitat del palo blanco abarca diversos ambientes, como bosques de espinas, selvas bajas de hojas caducas y áreas de sabanas con robles. Su presencia es importante en zonas de matorrales xerófilos, contribuyendo en la diversidad biológica local. La floración de esta especie, un evento importante en su ciclo de vida para su reproducción, generalmente ocurre entre los meses de noviembre y marzo (Loera, 2016).

Tratamientos Pregerminativos

Los tratamientos pregerminativos son utilizados como una iniciativa para el manejo de semillas de importancia forestal. Sin embargo, aún no se les reconoce la importancia que merece, por lo que se han aplicado pruebas a la manipulación directa de la semilla con el fin de obtener conocimientos necesarios para crear programas de reforestación y contribuir a la conservación de especies nativas. Cabe mencionar que cada especie requerirá de tratamiento único, por ello, es necesario aplicar varias técnicas para reconocer la más factible (Rodríguez, 1989).

Escarificación mecánica

La técnica de la escarificación mecánica tiene amplia historia que se remonta desde tiempos antiguos. Esta técnica implica el uso de materiales como limas, lijas, cuchillos y otros instrumentos que alteran la capa exterior de la semilla. Esto se hace con el propósito de facilitar la absorción de agua y provocar la germinación de manera exitosa (Baskin y

Baskin, 2014). En la actualidad, esta técnica se lleva a cabo en diversas condiciones y con diferentes objetivos. Por ejemplo, se utiliza en la agricultura para mejorar la germinación de semillas de plantas tanto silvestres como cultivadas. Además, se aplica en la restauración en zonas dañadas, contribuyendo así a una mejor propagación (Hartmann et al., 2014).

Asimismo, esta práctica ha encontrado la aplicación en trabajos relacionados con especies endémicas de la región, tales como el mezquite blanco (*Prosopis laevigata*), el palo fierro (*Olneya tesota*), el guamúchil (*Pithecellobium dulce*), la guásima (*Guazuma ulmifolia*), y otras (Hernandez-Vargas, et al., 2001; Sañudo-Torres et al., 2009; Sobrevilla-Solís et al., 2013).

Escarificación química

La escarificación química es una técnica que consiste en la inmersión de semillas en sustancias químicas para romper su capa externa dura, facilitando así el proceso de germinación. Generalmente, se utilizan ácidos como el sulfúrico, clorhídrico o industriales, utilizados durante distintos periodos de tiempo, según la especie en cuestión (Coa et al., 2014). El objetivo de este procedimiento es permitir que la semilla pueda absorber agua para activar su metabolismo, lo que promueve los nutrientes necesarios para iniciar el proceso de germinación (Suárez y Melgarejo, 2010). Además, se utilizan fitohormonas como el ácido giberélico, entre otras, para romper la latencia de la semilla y facilitar el inicio del proceso de germinación (Cavusoglu y Sulusoglu, 2015).

Escarificación física

La escarificación física utiliza técnicas como la aplicación de agua a diferentes temperaturas para debilitar la testa. Al someterla a temperaturas elevadas, las células de la capa externa se deterioran, lo que facilita la absorción de agua y diluye los inhibidores químicos que imposibilitan la germinación (Baskin y Baskin, 1998). Esta técnica es considerada una de las más efectivas para romper la latencia física de las semillas (Paretti,

1994), ya que permite que la testa se ablande de manera controlada, causando el proceso de germinación (Maya, 1999).

Calidad de la semilla

La disponibilidad de semillas de alta calidad es importante para asegurar su preservación y viabilidad a largo plazo. Para ello, se realizan análisis de calidad y pruebas de germinación, asegurando su conservación en bancos de germoplasma bajo condiciones controladas como la temperatura, humedad relativa y el uso de recipientes adecuados (Naik y Deshpande, 2021). Según la FAO (2014), el mantenimiento de una buena calidad de semillas depende del control de la temperatura y la humedad. Además, es primordial realizar sistemas de monitoreo para evitar la posible presencia de patógenos u hongos, que puedan afectar la calidad de las semillas. Asimismo, es fundamental conocer la longevidad de las semillas para asegurar que mantengan su calidad durante su almacenamiento.

Fertilidad del Suelo

Las zonas áridas y semiáridas que abarcan gran parte de México, se conforman de casi el 95% de su territorio, siendo Sonora la entidad con mayores superficies de matorrales (Van Devender et al., 2010). Debido a esto, los desafíos ambientales han sido principalmente originados por la agricultura, ganadería y silvicultura, ya que han tenido un gran impacto en la estructura de suelo (CONAFOR, 2014). Sin embargo, en las zonas áridas, suelo característico del estado de Sonora, enfrenta problemas a nivel nacional (Reyna-González et al., 2021). Estas regiones, conocidas por sufrir lluvias escasas, una elevada evapotranspiración y una vegetación escasa, son susceptibles para la degradación del suelo (Montaño y Monroy, 2000).

En suelos áridos, es habitual la baja fertilidad, siendo las poblaciones microbianas son de suma importancia en el desarrollo de las plantas. Las actividades enzimáticas en el suelo desempeñan un papel importante, ya que impulsan la obtención de nutrientes esenciales como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) (Calvo et al., 2008).

La escasa materia orgánica en suelos áridos requiere descomposición y mineralización para que pueda ser aprovechada por las plantas, involucrando a los microorganismos. Sin embargo, las condiciones óptimas de temperatura y humedad en ambientes áridos restringen la actividad microbólica, resultando en períodos cortos de producción de nitrógeno, especialmente después de las lluvias (Celaya y Castellanos, 2011). Durante los períodos secos, la descomposición de la materia orgánica, especialmente por la radiación UV, juega un papel clave. Las altas temperaturas, las variaciones en la humedad y la presencia de diversas especies vegetales contribuyen a la diversidad temporal y espacial en la mineralización de nitrógeno. La intervención humana, evidenciada por la deforestación, y la siembra de especies exóticas, sobrepastoreo y tala ilegal, puede alterar el equilibrio del suelo, afectar su capacidad autorreguladora y disminuir la fertilidad, con potenciales consecuencias negativas a largo plazo impidiendo el crecimiento y desarrollo de especies nativas (Celaya y Castellanos, 2011)

Para la recuperación de suelos degradados por estas actividades, difícilmente se ha considerado la introducción de plantas nativas. La siembra de especies nativas en estos tipos de suelos permitiría evitar la erosión (Mc Caughey-Espinoza, 2019).

Condiciones Climatológicas

El clima juega un papel importante para la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, siendo el más importante la precipitación (Owen, 1995). La presencia de vientos contribuye al desgaste de las rocas madres aportando minerales junto con la lluvia y viento lo que conlleva el arrastre de los nutrientes (FAO, 1996). Tomando en cuenta que el municipio de Hermosillo se caracteriza con suelo dominante de franco arenoso (FAO, 2014). El cambio climático ha ido en aumento, lo que ha provocado la disminución de la producción de semillas de especies nativas como el palo blanco (*Ipomoea arborescens*), además la falta de precipitaciones en la zona, provocando sequías. Por ello, es importante tomar medidas y buscar soluciones para la conservación de semillas a pesar de los cambios en las condiciones climatológicas.

Sonora se distingue por tener tipo de suelo seco-cálido y semiseco-semicálido, cubriendo aproximadamente un 70.4% de su extensión total, equivalente a tres cuartas partes del estado. La precipitación se basa en 94%, variando desde unos escasos 50mm en la zona noroeste del estado hasta superar los 600mm en el centro del mismo (INEGI, 2007). En Hermosillo, predomina un clima muy seco semicálido (51.29%) en la mayor parte del territorio, con un rango de temperatura como mínimo rondando los 18°C a un promedio máximo de 26°C y oscilaciones de precipitación de 100 a 600 mm anuales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas, el aumento acelerado de actividades antropogénicas ha provocado fuertes impactos en los ecosistemas naturales. En Sonora, estos cambios han causado una inquietud por la degradación del medio ambiente derivado a la expansión urbana, actividad minera y la tala ilegal de árboles, poniendo en peligro la supervivencia de la especie. No obstante, a pesar de que la especie tiene gran valor ecológico y medicinal, existe la falta de conocimiento específico sobre sus comportamientos de germinación y métodos de propagación para asegurar su conservación.

El interés comercial de *Ipomoea arborescens*, radica en sus propiedades medicinales, ornamentales y forrajeras, aparte de ser utilizada como alimento para animales silvestres y domésticos, características que incrementan su importancia en su entorno y sobre todo, ser una planta nativa, por lo cual, el desarrollo de métodos para su propagación deben ser eficientes y viable.

La conservación del palo blanco es fundamental para mantener la diversidad biológica y restablecer el equilibrio del entorno en los que habita. A su vez, la recuperación de la especie proporcionará reconocimiento a sí mismo para en un futuro emplear trabajos de investigación aplicados en lo medicinal u otros propósitos de interés para que la especie llegue a ser reconocida. Además, la importancia de utilizar técnicas que sean accesibles que puedan ser empleadas en la práctica de rehabilitación de áreas afectadas. Debido a la limitada documentación sobre estudios relacionadas a su calidad de semilla, proponer métodos para su propagación garantiza el éxito de su población. Además, respaldaría también en aplicar en otros proyectos vinculados a especies endémicas de la región.

Los resultados de este estudio no solo enriquecerán al conocimiento en el ámbito de la ecología y la conservación, sino que también brindarán información crucial para aportar soluciones prácticas y accesibles de manejo de conservación flexibles, que velen por la preservación o busquen emprender acciones concretas.

JUSTIFICACIÓN

Factores como el sobrepastoreo, la deforestación, los cambios en el uso del suelo debido a la agricultura y la ganadería, la tala ilegal de árboles, los fuegos forestales y las lluvias escasas han sido las principales causas al deterioro del suelo en la región. Por lo tanto, el impacto en las plantas nativas en el estado de Sonora ha provocado problemas irreversibles en sus comunidades forestales.

En el estado de Sonora, México, la especie *Ipomoea arborescens* desempeña un papel crucial en el ecosistema y la diversidad biológica local. Por eso, es necesario realizar estudios sobre su proceso de supervivencia. Dado a los cambios climáticos y la alteración del hábitat en su preservación y manejo, es fundamental comprender cómo esta especie lleva a cabo su proceso de germinación y reproducción. Además, resulta de gran importancia producir una cantidad significativa de plántulas de esta especie para recuperar en áreas perturbadas o degradadas. Dicho lo anterior, la recuperación ecológica de la especie favorecerá a los usos medicinales adaptados en la tradición local.

Así pues, idear técnicas pregerminativas que puedan facilitar una germinación uniforme y rápida es vital para mejorar la producción a gran escala. Evaluar la tasa de supervivencia no solo arrojaría luz sobre las condiciones del suelo, sino que también proporcionaría información importante sobre la calidad y la fertilidad. Esto implicaría en una mejor selección de sustrato y condiciones óptimas de crecimiento para los agricultores, permitiéndoles producir plántulas de alta calidad.

Este trabajo profundiza los conocimientos ecológicos de la especie, además de ofrecer consejos prácticos para trabajos de conservación y rehabilitación, mediante técnicas para asegurar la germinación efectiva con perspectivas innovadoras y sostenibles, garantizando su disponibilidad en generaciones futuras.

HIPÓTESIS

La tasa de germinación de *Ipomoea arborescens* incrementará significativamente mediante la aplicación de técnicas de escarificación en comparación con las condiciones de germinación natural *in situ*.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el porcentaje de germinación y sobrevivencia de las semillas del palo blanco (*Ipomoea arborescens*) *in situ*.

Objetivos Específicos

1. Estimar la germinación de *Ipomoea arborescens* bajo técnicas de escarificación química, física y mecánica.
2. Evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo del sitio de estudio.
3. Analizar las condiciones climatológicas durante dos años.
4. Medir el porcentaje de germinación *in situ* bajo condiciones naturales.

METODOLOGÍA

Especie en Estudio

Ipomoea arborescens (palo blanco), es un árbol endémico de gran importancia ecológica en el estado de Sonora. Esta especie es importante por sus propiedades medicinales y forrajeras, se reconoce como especie clave de los ecosistemas locales. La identificación de la planta se realizó utilizando el herbario de la Universidad de Sonora, con un número de catálogo 17071 (figura 3).



Figura 3. Representación de la especie del palo blanco (*Ipomoea arborescens*).

Sitio de Estudio

El área de estudio se localiza a 4 km al norte del municipio de Hermosillo, Sonora, en las coordenadas $29^{\circ}10'46''$ de latitud norte y $110^{\circ}56'46''$ de longitud oeste (figura 4). A una altitud de 392 metros sobre el nivel del mar, el sitio tiene una precipitación media anual de 330 mm y una temperatura promedio de 24°C . El tipo de suelo predominante es arenoso-arcilloso y la vegetación corresponde a un matorral arbosufrutescente (COTECOCA, 2002; INEGI, 2007; SAGARPA, 2010).

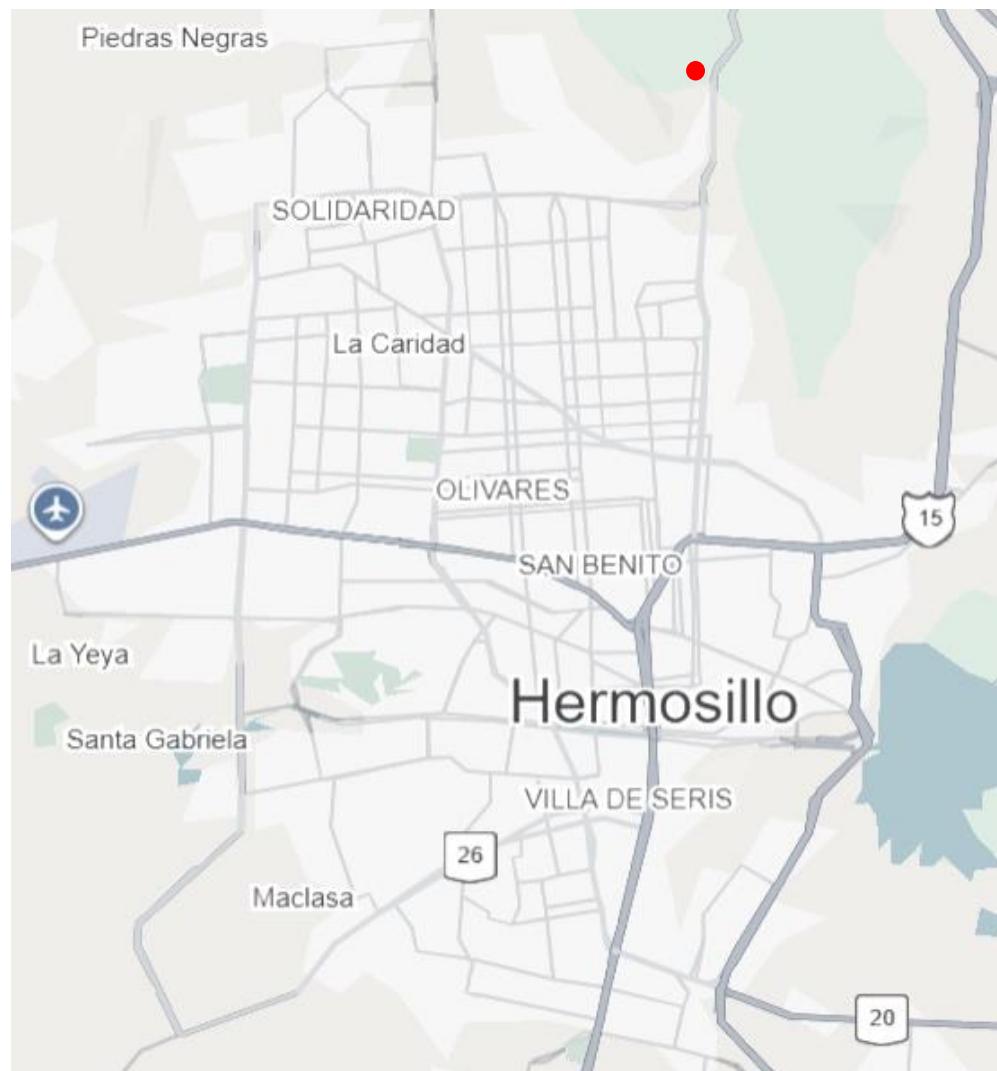


Figura 4. Mapa del municipio de Hermosillo, Sonora. Sitio de estudio marcado con un punto rojo.

Área Seleccionada

Para la investigación, se seleccionó un área con ayuda de cuadrantes de 100x100m², logrando una superficie total de 10,000 m². Las semillas de *Ipomoea arborescens* fueron recolectadas en mayo del 2022, asegurando que estuvieran libres de deterioro o germinación prematura. Se seleccionaron semillas fisiológicamente maduras, sin daños visibles causados por insectos o mecánicos (figura 5) (Mc Caughey-Espinoza et al., 2019). Las semillas recolectadas fueron guardadas en bolsas con cierre hermético (Ziploc) y almacenadas a una temperatura de 4°C para conservar su integridad y evitar el desarrollo de algunos huevecillos o insectos de campo (Oliva et al., 2014; Mc Caughey-Espinoza et al., 2018). Las semillas fueron resguardadas en laboratorio para su posterior uso.

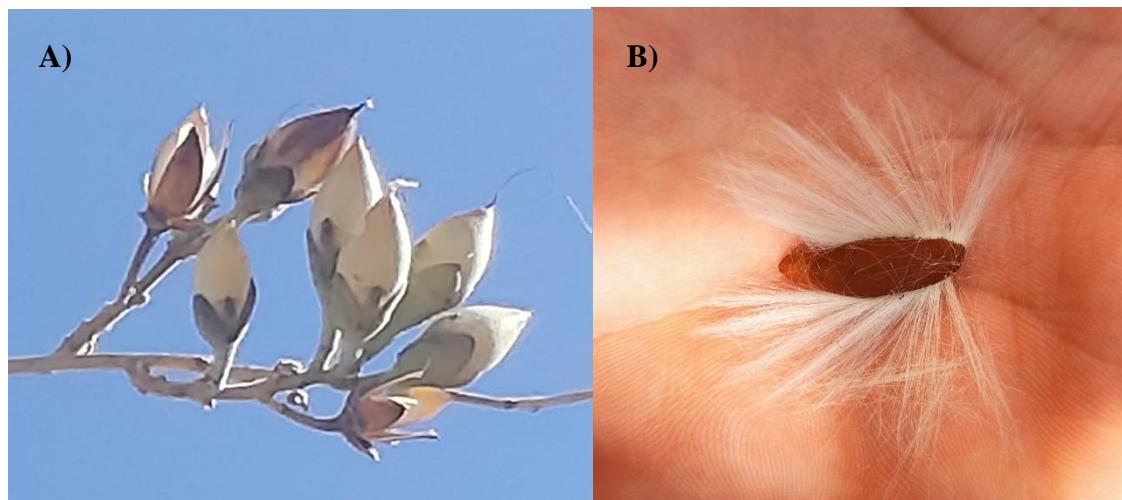


Figura 5. A) cápsulas de palo blanco. B) semilla del palo blanco.

Tratamiento Pregerminativo

Se utilizaron 75 semillas para cada uno de los tratamientos siguientes:

Escarificación química

1. Tratamiento con ácido sulfúrico (H₂SO₄): Las semillas fueron sumergidas en ácido sulfúrico en frascos tipo Gerber, utilizando dos tiempos de incubación, 1 y 3 minutos respectivamente (Miranda, 1996).

2. Tratamiento con ácido clorhídrico (HCl) al 30%: Las semillas fueron sumergidas en ácido, específicamente en ácido clorhídrico al 30% de concentración, con dos tiempos de incubación de 1 y 3 minutos respectivamente (Leon, 2017).
3. Tratamiento con peróxido de hidrógeno (H₂O₂): Las semillas fueron sumergidas en peróxido de hidrógeno dentro de frascos tipo Gerber durante 3 minutos, para luego ser retiradas (Rodríguez-García et al., 2020).

Escarificación mecánica

1. Lijado con mini drill: Las semillas fueron lijadas con un mini drill utilizando una lija #180 sobre la testa para debilitarla (Alvarez-Martínez, et al., 2024).
2. Lijado manual: Las semillas fueron lijadas manualmente con lija de agua #100 durante varios segundos hasta debilitar la testa (Sobrevilla-Solis, 2013).

Escarificación física:

1. Tratamiento de imbibición en agua: En este último tratamiento, las semillas fueron embebidas en agua de llave durante 24 horas (Celaya-Michel et al., 2017).

Siembra

Se utilizaron charolas de hielo seco con 20 cavidades cada una. Estas fueron lavadas y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) (CLOROX®) al 10%, dejándolas reposar durante 5 minutos. Posteriormente, se llenaron con sustrato peat moss para proceder con la siembra de las semillas previamente de acuerdo al método de escarificación a evaluar. Una vez sembradas, las charolas se llevaron a un cuarto de incubación, se cubrieron con plástico negro de polietileno para proporcionar más humedad, la aplicación de los riegos fue al segundo día y tercero, dependiendo de la humedad del sustrato. La temperatura se mantuvo a 25° ± 2°C, con un fotoperíodo de 16h de luz, 8h de oscuridad y una humedad relativa de 70-75%.

Análisis de Suelo

Toma de muestras

Las muestras fueron tomadas sobre pendiente debajo de una loma de manera aleatoria en las coordenadas 29°17'21" N, -110°95'10"O en el km 4 al norte del municipio de Hermosillo, Sonora, sobre el Blvd. Gustavo Mazón López. La toma de muestras en cada ubicación se realizó utilizando una pala y un pico hasta obtener una profundidad de 30cm (Ochoa-Espinosa et al., 2019). De las cuales se tomaron cuatro muestras de aproximadamente 2kg y posteriormente se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas. Posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio especializado en análisis de suelo “AgroSer Laboratorio”.

Análisis fisicoquímicos de suelo

Los muestras obtenidas fueron analizadas por el laboratorio “Agroser” donde se compararon y catalogaron según la NOM-021-RECNAT-2000 con estándares de referencia de los laboratorios de suelos en México realizado por Vázquez et al., 2016.

Mediciones Climatológicas

De acuerdo a los datos obtenidos que se llevó a cabo con el apoyo de la sede de Comisión Nacional de Agua (CONAGUA-Hermosillo, Sonora). Los datos fueron procesados anualmente en cuanto a precipitación, temperatura máxima y mínima y por último el porcentaje de humedad relativa mediante un periodo histórico de 1992-2022 y otro en comparación con los años del presente trabajo de investigación 2022-2023.

Porcentaje de Germinación *in situ*

Preparación del terreno para la siembra

Para la siembra de semillas *in situ*, se llevó a cabo dentro de un área de 200m². En cuanto a la preparación del terreno donde se llevó a cabo la germinación *in situ*, se

realizaron 100 unidades experimentales de una profundidad de 20 cm con un diámetro de 10 cm. Con una distancia de 5 metros cada uno. Una vez sembradas se colocaron cilindros de malla hexagonal de 38 mm calibre de 20 con una altura de 58 cm y 60 cm de ancho. Esto con el fin de proteger las semillas de la presencia de granívoros y, una vez germinadas, de lagomorfos.

Los riegos que se realizaron para ayudar a acelerar el proceso germinativo de las semillas escarificadas y no escarificadas, fue de 1 litro, los cuales se aplicaron todos los días durante 30 días que concluyó el índice de germinación de las semillas.

Producción de plántulas de palo blanco

Con el fin de evaluar el porcentaje de sobrevivencia al trasplante de la especie en estudio, se produjeron 80 plántulas con semillas previamente escarificadas con lija de drill. Se sembró una semilla por cada bolsa (polietileno) con 1kg de sustrato del área de estudio. La aplicación de los riegos fue cada 2 o 3 días dependiendo la humedad en el sustrato.

Preparación del área de estudio para el trasplante

El trasplante se llevó a cabo dentro de una área de 200 m². Las plántulas que se utilizaron presentaron una altura promedio de 21 cm. En cuanto a la preparación del terreno, se realizaron 50 unidades experimentales con una profundidad de 40 cm y un ancho de 30 cm con una distancia de 5m cada uno.

Trasplante de plántulas de palo blanco

Durante el trasplante, se retiró la bolsa negra a las plántulas para posteriormente colocarlas en los hoyos y después se llenaron con tierra (Mc Caughey-Espinoza et al., 2018). Una vez trasplantadas las plántulas se colocó un cilindro (protector) de malla hexagonal de 38 mm calibre de 20 con una altura de 58 cm y 60 cm de ancho.

Tuvieron riegos pesados durante los primeros tres días con 3lt cada uno y posteriormente, dos veces a la semana durante un mes.

Análisis Estadístico

Tratamientos pregerminativos

Para evaluar el porcentaje de germinación de las semillas de *Ipomoea arborescens* en cuanto a los diferentes tratamientos pregerminativos, se utilizó un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial de 8 tratamientos. Se aplicó un análisis con ArcSen utilizando el programa JMP versión 17.0 (JMP Statistical Discovery LLC, 2022).

Fertilidad del suelo

Para determinar la composición fisicoquímica del suelo presente en el área de estudio se tomaron cuatro muestras de suelo completamente al azar, y se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con los resultados obtenidos se realizó una comparación de medias utilizando HSD Tukey-Kramer con $P<0.05$ utilizando el programa JMP versión 17.0 (JMP Statistical Discovery LLC, 2022).

Porcentaje de germinación in situ

Para evaluar la germinación *in situ* de las semillas de *Ipomoea arborescens*, se utilizó un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial de 2 tratamientos (40 semillas escarificadas y 40 no escarificadas), se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA), con una comparación de medias por Tukey-Kramer $\alpha=0.05$ utilizando el programa JMP versión 17.0 (JMP Statistical Discovery LLC. 2022).

RESULTADOS

Tratamientos Pregerminativos

Transcurridos los dos días de siembra de las semillas con sus respectivos tratamientos pregerminativos, se observó en el caso de escarificación con lija, mostró resultados positivos constantes a través de los días, obteniendo un 97.3% convirtiéndolo en el método más efectivo para romper la latencia y acelerar la germinación. Sin embargo, con el uso de lija con drill, mostró un porcentaje similar de germinación de hasta un 98.6% siendo el más destacado entre todos los tratamientos.

El uso de tratamiento con ácidos como químicos, en especial el H_2SO_4 , mostró buenos resultados con un 52% de germinación. En cambio, el tratamiento con semillas embebidas el uso de H_2O_2 presentaron los porcentajes más bajos de germinación con 22.6% y 30.66% respectivamente, como se observa en la gráfica (figura 6).

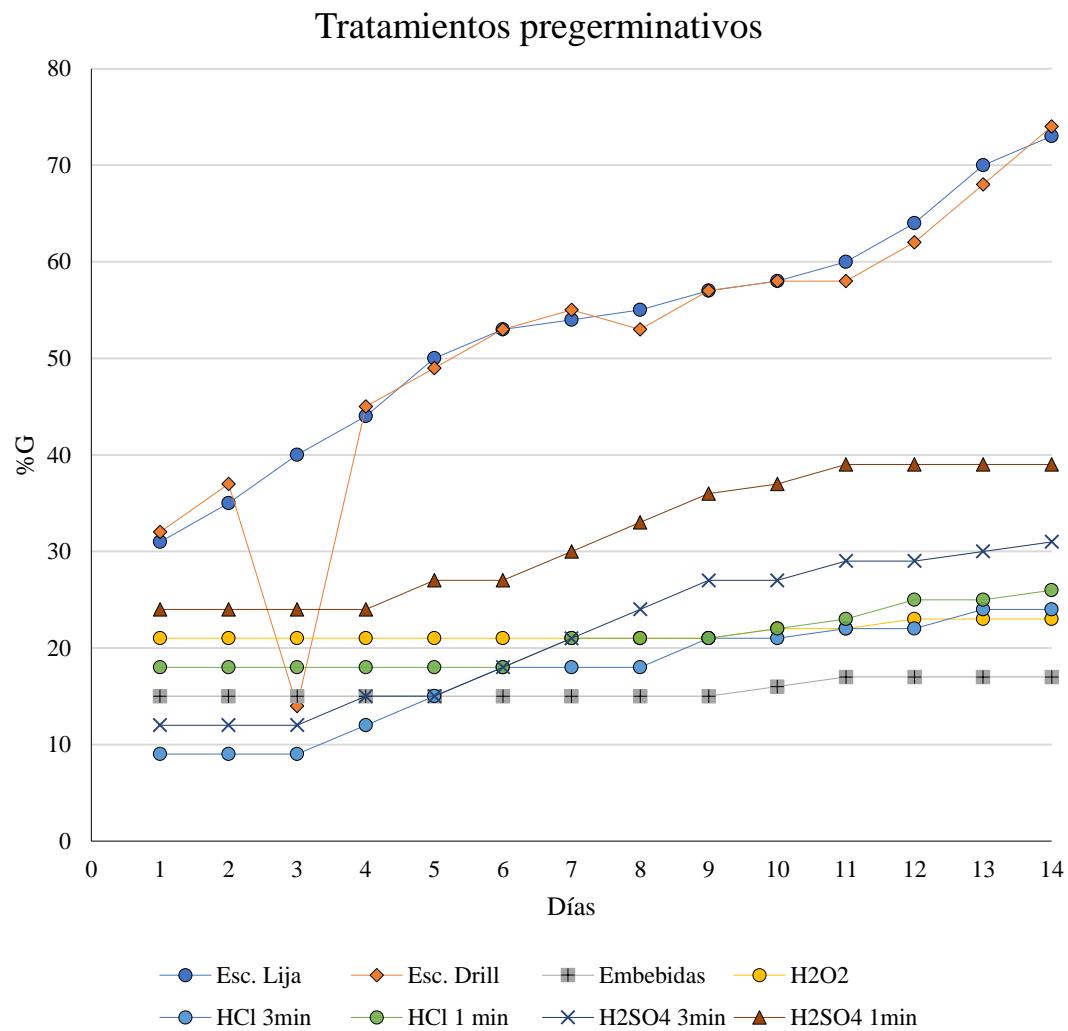


Figura 6. Tratamientos mecánicos (escarificación lija y escarificación drill); tratamientos químicos (H₂O₂; HCl 3min y 1min; H₂SO₄ 3min y 1min) y tratamiento físico (embebidas).

A partir del análisis del estadístico aplicado, revelan que los tratamientos más efectivos para inducir la germinación en las semillas del palo blanco fueron los mecánicos, siendo por medio de escarificación con lija manual (0.00966) y por drill (0.00965), lo que indica una mayor eficiencia en la ruptura de la dormancia en comparación con los tratamientos físicos y químicos, tomando en cuenta que las semillas embebidas obtuvieron 0.005271

con media más baja de todos (tabla 1). Por lo que los tratamientos mecánicos representan una opción más rápida y viable en cuanto a la aceleración de la germinación de las semillas del palo blanco.

Se obtuvo un R^2 fue de 0.812588, sugiriendo que el modelo estadístico apunta una alta seguridad en la relación de los tratamientos aplicados y respuestas germinativas de las semillas de palo blanco, además, el valor $F<0.001$ lo que señala diferencias altamente significativas entre los tratamientos utilizados.

Tabla 1. Tratamientos pregerminativos de la semilla.

Tratamientos	Media	Error estándar
Escarificación lija	0.00966	0.0002
Escarificación drill	0.00965	0.0002
Embebidas	0.00527	0.0002
H_2O_2	0.00619	0.0002
HCl 3min	0.00547	0.0002
HCl 1min	0.00608	0.0002
H_2SO_4 3min	0.00610	0.0002
H_2SO_4 1min	0.00745	0.0002

Fertilidad del Suelo

Los resultados del análisis físico-químico del suelo mostraron ser del tipo franco-arenosas, además de que existen variaciones significativas entre las muestras, recalmando la diversidad en las propiedades químicas de las muestras analizadas.

La muestra 1 presentó un mayor contenido de fósforo, presentó niveles altos de fósforo (35.07ppm), potasio (369.0ppm) y nitratos (24.33ppm), a diferencia del resto de las muestras analizadas (tabla 2).

En contraste, la Muestra 2 presentó concentraciones más bajas de fósforo (15.85ppm). Sin embargo, se identificó una concentración relativamente alta de sodio (54.00 ppm), mientras que mostró la más baja en capacidad de intercambio catiónico (CIC) con 17.64 CmolKg⁻¹. Las Muestras 3 y 4 presentaron perfiles intermedios, con la Muestra 3 mostrando una concentración notoria de magnesio (306.0ppm) y la Muestra 4 presentando valores considerables de calcio (5677.0ppm).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del suelo en el área de estudio.

Propiedades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
MO	0.84±0.01a	1.04±0.01a	1.43±0.01a	1.38±0.01a
P	35.07±0.01a	15.85±0.01b	16.95±0.01c	16.40±0.1d
N-NO ₃	24.33±0.021a	4.08±0.01b	1.60±0.1c	21.71±0.01d
Ca	4594.0±1.0a	3003.0±1.0b	3473.0±1.0c	5677.0±1.0d
Mg	218.0±1.0a	232.0±1.0a	306.0±1.0b	304.0±1.0c
Na	56.0±01.0a	54.00±1.0ab	50.00±1.0b	53.00±1.0c
K	369.0±1.0a	192.0±1.0b	266.0±1.0c	186.0±1.0d
%SAT	28.30±0.1a	29.30±0.1ab	30.00±1.0ab	31.00±1.0b
CIC	25.93±0.1a	17.64±0.1b	20.77±0.1c	31.56±0.1d
pH	7.24±0.1a	6.98±0.1b	6.25±0.1c	6.54±0.1d
%CaCO ₂	3.0±1.0a	1.0±0.1a	1.0±0.1b	3.0±1.0b
C.E. (dS/m)	0.67±0.1a	0.77±0.1b	0.66±0.1bc	0.69±0.1c

*a, b, c, d entre renglones indican diferencias significativas (P<0.05). (CIC): capacidad de intercambio catiónico; (%SAT): porcentaje de saturación; (C.E.): conductividad eléctrica; (MO): materia orgánica.

El pH en este tipo de suelo tiende a ser ácidos, debido a que oscila entre los rangos 6.25 a 7.24 y que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es variable dependiendo de las propiedades obtenidas.

El pH del suelo de La Muestra 1 presentó un pH fue un tanto alcalino de 7.24, mientras que las Muestras 2 y 3 arrojaron valores más bajos (6.98 y 6.25 respectivamente). La Muestra 4 mostró un pH de 6.54. Estos resultados indican que el tipo de suelo se presentó neutro en general.

El porcentaje de saturación (%SAT), presentó variaciones notables entre las muestras. La Muestra 1 presentó un %SAT de 28.30, notándose como la muestra con menor retención de agua. Por otro lado, la Muestra 4 registró el %SAT más elevado, alcanzando 31.0%. Estas señalan variaciones significativas en la capacidad de retención de agua entre las diferentes muestras tomadas.

En cuanto al %CaCO₂ se mostró dentro del rango permitido en base a las muestras 2 y 3 con 1%. En cambio, las muestras que se mostraron relativamente un poco altas fueron las muestras 1 y 4 llegando hasta un 3% de concentración.

En cuanto a la conductividad eléctrica (C.E.), la cantidad de sales disueltas en el suelo en La Muestra 1 presentó una C.E. de 0.67, mientras que la Muestra 2 registró 0.77. Estos resultados sugieren diferencias en la salinidad del suelo entre las áreas de muestreo.

Los cationes intercambiables en las diferentes muestras de suelo (tabla 3). Se observa que las muestras presentaron diferencias significativas en la concentración de cationes, teniendo en cuenta que las muestras son franco arenosas, se puede estimar que los cationes intercambiables (CIC) está entre 60 y 100 CmolKg⁻¹de suelo. Este rango es razonable, teniendo en cuenta que los suelos franco arenosos suelen tener un 10 y 20% de arcilla.

Tabla 3. Bases de cationes intercambiables.

Suelo	Ca*	Mg*	Na*	K*
Muestra 1	88.40±0.1a	7.0±1.0a	0.9±0.1a	3.6±0.1a
Muestra 2	84.90±0.1b	10.9±0.1a	1.3±0.1b	2.8±0.1ab
Muestra 3	83.40±0.1c	12.3±0.1b	1.0±0.0bc	3.0±0.5b
Muestra 4	98.80±0.1d	8.0±1.0b	0.7±0.1c	1.5±0.1c

a, b, c, d entre renglones indican diferencias significativas (P<0.05).

En general, los análisis mostraron un contenido de bases aceptables, con un porcentaje de saturación de bases (PSB) superior al 70% en todas las muestras. Específicamente, Muestra 1 arrojó un PSB del 76,4%, la muestra 2 un 78,9%, la muestra 3 un 80,3% y la muestra 4 un 88,1%.

Respecto a las proporciones entre las diferentes bases, la muestra 1 presentó una proporción Ca:Mg de 12:1, la muestra 2 una relación de 10:1, la muestra 3 una relación de 11:1 y finalmente, la muestra 4 una relación de 12:1.

Mediciones Climatológicas

El clima en la región del estado de Sonora es cálido, mostrando variaciones e temperatura a lo largo del año. La temperatura media anual máxima de 38°C y una media de 28.8 °C. La precipitación anual en los últimos 28 años del periodo fue de 339.97 mm (29.48 DE) concentrándose en la época de verano se observa en los periodos de julio y agosto. Los inviernos se muestran secos y templados con temperatura mínima anual de 17.30°C, siendo diciembre y enero como los meses más fríos (CONAGUA, 2023).

El porcentaje de humedad relativa en el municipio de Hermosillo, se muestra como relativamente baja, con un mínimo el 31.68% en el mes de mayo, esto debido al cambio de temperaturas por primavera-verano con una DE de 0.8. Como máximo porcentaje se

mostró con 57.55% en el mes de agosto, causado por la temporada de lluvias de la región con una media de 46.45% (CONAGUA, 2023).

Durante el periodo 2022-2023 (figura 7), los resultados del análisis de temperatura máxima, se mostraron de 39°C con y precipitación de 25.18mm, mostrándose un clima seco y caluroso. La temperatura media en Hermosillo es respectivamente alta durante todo el año, mostrándose altos en los meses de julio y agosto. La temperatura media más baja se registra en diciembre, con 15°C (CONAGUA, 2023).

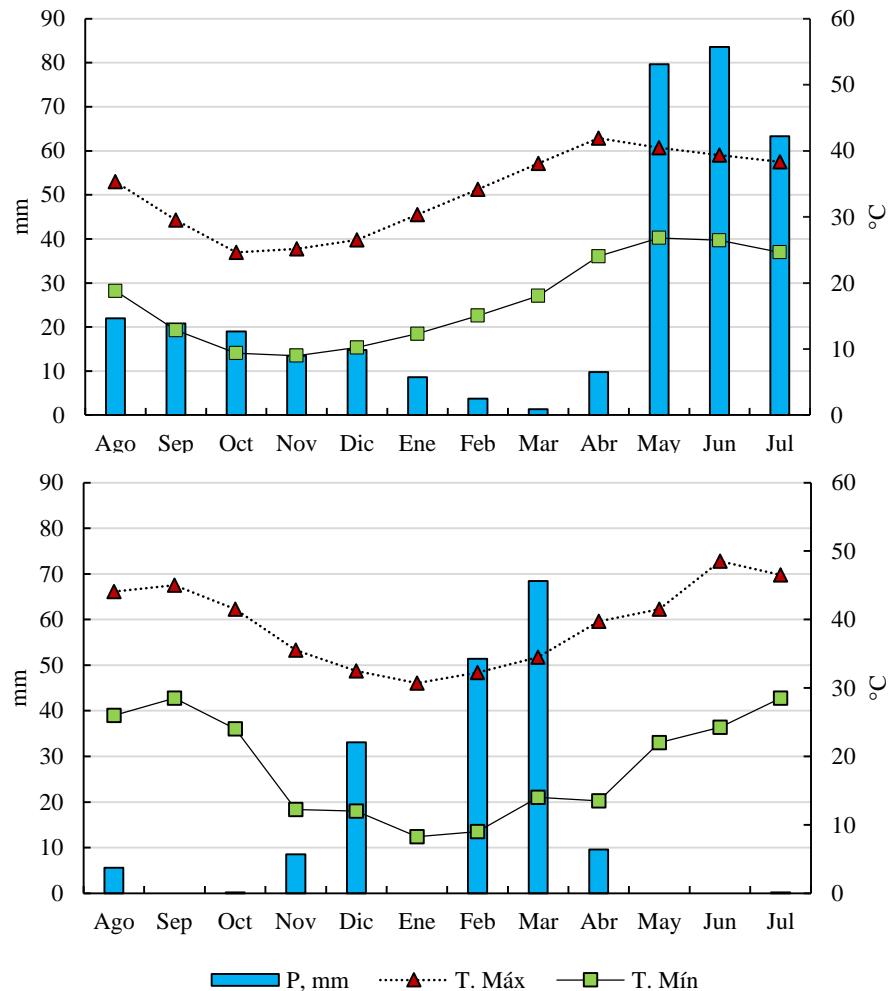


Figura 7. Temperatura (líneas) y precipitación (barras) en Hermosillo, Sonora, México. Informe de dos períodos: 1992-2021 (a) y 2022-2024 (b) (CONAGUA, 2023).

En cuanto a las precipitaciones, se observa una distribución irregular a lo largo del año. Los meses con mayor acumulación de lluvia son febrero, con aproximadamente 70 mm, y marzo, con cerca de 65 mm, lo que sugiere que el periodo más lluvioso tuvo lugar al final del invierno y comienzos de la primavera. En contraste, durante la mayoría de los otros meses las precipitaciones son mínimas o prácticamente inexistentes, como es el caso de agosto, septiembre, noviembre, mayo y junio, donde las precipitaciones apenas superan los 10 mm. Esto refleja la marcada aridez de la región (CONAGUA, 2023).

Por otro lado, las temperaturas, tanto máximas como mínimas, presentan un comportamiento caracterizado por extremos. Las temperaturas máximas, representadas por la línea punteada con triángulos rojos, alcanzan sus valores más altos durante los meses de mayo, junio y julio, superando los 50°C, lo que es indicativo del intenso calor que prevalece durante el verano en Hermosillo. En contraste, durante los meses de invierno, particularmente en diciembre y enero, la temperatura máxima disminuye hasta los 30°C, lo que, si bien sigue siendo cálido, representa el periodo más templado del año (CONAGUA, 2023).

En cuanto a las temperaturas mínimas, representadas por la línea de cuadrados verdes, se observa una caída significativa en diciembre y enero, meses en los cuales la temperatura mínima desciende hasta los 5°C, marcando así el punto más frío del año. No obstante, a partir de enero se registra un incremento gradual en las temperaturas mínimas, las cuales superan los 30°C en el mes de julio, coincidiendo con la fase más cálida del año (CONAGUA 2023).

El comportamiento térmico en Hermosillo refleja un marcado contraste anual, con inviernos que presentan noches moderadamente frías y días relativamente cálidos, y veranos extremadamente calurosos, donde tanto las temperaturas diurnas como nocturnas son elevadas. Las lluvias, por su parte, se concentran en pocos meses, siendo el invierno

la temporada con mayores precipitaciones, mientras que el verano, a pesar de las altas temperaturas, es un periodo casi completamente seco. Este patrón es característico de los climas desérticos o semiáridos, donde las precipitaciones son escasas y las variaciones de temperatura a lo largo del año son notables (CONAGUA, 2023).

La tabla 4 presenta la humedad relativa promedio mensual de Hermosillo durante un año permite observar variaciones importantes a lo largo de los meses. Los valores de humedad relativa varían desde un mínimo de 24% en abril hasta un máximo de 60.1% en agosto, mostrando un claro patrón estacional (CONAGUA, 2023).

Tabla 4. Porcentaje de humedad relativa periodo 2022-2023 de Hermosillo, Sonora.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
40	45	36.5	24	28	30.5	42	60.1	51.5	45.5	40.3	44

Durante los meses de invierno, en particular en enero y febrero, la humedad relativa se mantiene en niveles moderados, con valores de 40% y 45%, respectivamente. Sin embargo, a medida que avanza la primavera, se aprecia una tendencia decreciente, alcanzando su punto más bajo en abril, con 24%. Esto sugiere un ambiente más seco durante esta época, lo que coincide con un aumento de la temperatura y una reducción de las precipitaciones (CONAGUA, 2023).

A partir de mayo, los valores de humedad relativa comienzan a recuperarse ligeramente, pasando de 28% en dicho mes a 30.5% en junio. El aumento más notorio ocurre en julio y agosto, con 42% y 60.1%, respectivamente, lo cual es indicativo del inicio de la temporada de lluvias y la mayor acumulación de humedad en el ambiente (CONAGUA, 2023).

En los meses posteriores, especialmente entre septiembre y diciembre, la humedad relativa comienza a descender nuevamente, aunque sin alcanzar los valores mínimos observados en primavera. Para septiembre, la humedad es del 51.5%, mientras que en octubre, noviembre y diciembre los valores oscilan entre el 40.3% y el 45.5%, reflejando

condiciones relativamente más húmedas en comparación con la primera mitad del año (CONAGUA, 2023).

En cuanto a la variabilidad de los datos, es notable que la humedad relativa presenta una desviación estándar considerable, lo que sugiere una alta dispersión entre los meses con respecto a los valores promedio. Los meses más secos, como abril, presentan una marcada diferencia con los meses más húmedos, como agosto, lo que pone de manifiesto el fuerte contraste estacional que caracteriza al clima de la región (CONAGUA, 2023).

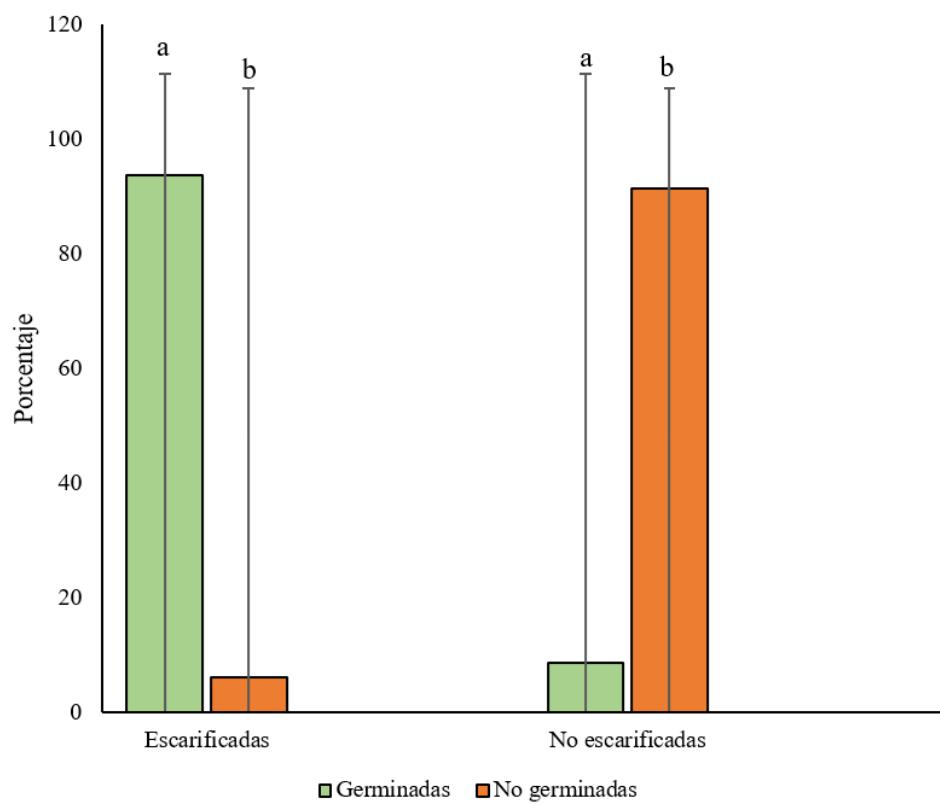


Figura 8. Porcentaje de germinación de palo blanco (*Ipomoea arborescens*).

Porcentaje de Germinación *in situ*

La germinación *in situ*, inicio al tercer día de la siembra (figura 8) y concluyó a los 15 días. De acuerdo con el análisis estadístico que se llevó a cabo para evaluar el

porcentaje de germinación *in situ*, se presentó una R^2 de 0.96. Teniendo un porcentaje de germinación de semillas escarificadas de 93.75% con una desviación estándar de 7.5, mientras que las semillas sin escarificación mostraron 8.75% con una desviación estándar de 10.30 (figura 10).



Figura 9. Germinación a los 3 días de palo blanco (*Ipomoea arborescens*) escarificado.

Con respecto a las semillas que fueron escarificadas que no germinaron, mostraron un 6.25% con DE de 7.5, mientras que el 91.25% en semillas germinadas sin el tratamiento de escarificación mecánica, mostraron una D.E. de 10.30, teniéndose a sí mismo una R^2 96.

Sobrevivencia al trasplante in situ a los 15 días

Al evaluar la sobrevivencia al trasplante de las plántulas de palo blanco (*Ipomoea arborescens*) en el sitio de estudio se observó a los días del post-trasplante una sobrevivencia del 100%.



Figura 10. Plántula de palo blanco (*Ipomoea arborescens*) a los 15 días de sobrevivencia.

Sobrevivencia al trasplante in situ a los 30 días

En relación post-trasplante de las plántulas de palo blanco en el área de estudio a los 30 días de la evaluación, se observó una sobrevivencia del 98%, con una mortalidad del 2%, cabe señalar que estos resultados son aceptables, considerando que únicamente se murió una planta y las plántulas adaptadas al tiempo de evaluación, mostraron un

crecimiento en promedio de 6 cm, teniendo plántulas que lograron a medir hasta 28 cm de altura.

No se presentó daños de lagomorfos, por lo que se puede señalar que para complementar el manejo agronómico las mallas jugaron un papel muy importante al tener un porcentaje arriba del 90% de sobrevivencia en post-trasplante a los 30 días (figura 11).



Figura 11. Plántula de palo blanco (*Ipomoea arborescens*) a los 30 días de sobrevivencia.

A los 120 días, es decir, concluyendo en el mes de agosto, se observó el 50% de sobrevivencia de plántulas a pesar de la ausencia de precipitación pluvial con una temperatura máxima de 44°C y mínima de 18°C. Mientras que la humedad relativa se mostró con 46.8% en el municipio.

DISCUSIONES

Tratamiento Pregerminativo

A pesar de que el palo blanco requiere escarificación mecánica mediante lija o taladro, como se observó en los resultados obtenidos, se registró germinación en las semillas en todos los tratamientos aplicados, independientemente de la metodología utilizada. Los tres tratamientos más destacados fueron la escarificación mecánica con taladro, con un porcentaje de germinación del 98.6%, seguido por la escarificación con lija con un 97.3%, y finalmente la inmersión en H_2SO_4 durante 1 minuto, con un 52% de germinación. Cabe señalar que la efectividad del tratamiento depende del grosor de las testas de las semillas, así como de la concentración del ácido utilizado (Sobrevilla-Solis, 2013).

En estudios previos con especies como el palo fierro (*Olneya tesota*), se emplearon tratamientos pregerminativos para acelerar la germinación. Por ejemplo, tras una inmersión de las semillas en agua durante 2 horas, se obtuvo un 1.5% de germinación, mientras que, con inmersión en H_2SO_4 durante 10 minutos a concentraciones del 20% y 40%, el porcentaje de germinación fue del 7.8% en ambos casos. Comparando estos resultados con las semillas de palo blanco, se puede deducir que reducir el tiempo de exposición podría aumentar significativamente la germinación. En el caso del palo fierro, la escarificación con lija resultó ser el método más efectivo, logrando un 70.3% de germinación, lo que sugiere que la escarificación mecánica es una técnica adecuada para especies con testas duras (Torres et al., 2009).

Los tratamientos con menor porcentaje de germinación fueron la inmersión en agua y en H_2O_2 , lo que podría deberse a que los embriones no estaban completamente desarrollados al momento de la recolección, o a que las semillas presentan una testa impermeable al agua y al oxígeno, lo que dificulta la imbibición y, por ende, la germinación (Weaver, 1989). Además, la cubierta dura de las semillas les proporciona protección en las condiciones desérticas de Sonora. En estos casos, el uso de escarificación mecánica o

química, así como la aplicación de hormonas que regulan la germinación y la dormancia, como sugiere Hartman y Kester (1991), puede ser una estrategia más eficaz. Sin embargo, los tratamientos pregerminativos no siempre son adecuados para todas las especies, lo que es parte del objetivo del presente trabajo con la especie palo blanco.

En cuanto al tratamiento de imbibición, se ha demostrado que algunas especies, como la zaya (*Amoreuxia palmatifida* DC.), cuando se sumergen en agua durante 24 horas, no presentan germinación (0%), mientras que la escarificación mecánica con lija permite alcanzar un 75% de germinación. Un tratamiento combinado de lijado y embebido durante 24 horas mejoró la germinación al 60% (Celaya-Michel et al., 2017), lo que sugiere que el lijado por sí solo es suficiente para promover la germinación en especies con testas duras, como es el caso del palo blanco.

Por otro lado, en el tratamiento con HCl, se ha observado en especies como el chile amashito (*Capsicum annuum* L. var. *glabriuscum*) que una exposición prolongada al ácido clorhídrico al 3% durante 72 horas resultó en un 0% de germinación. Sin embargo, en el caso del palo blanco, el tratamiento con HCl durante 1 y 3 minutos resultó en un 30.6% y un 32% de germinación, respectivamente. Esto sugiere que una menor duración de exposición al HCl podría ser más favorable para promover la germinación, ya que una exposición prolongada podría dañar el embrión debido a la naturaleza corrosiva del ácido (Pérez-Hernández et al., 2020).

Finalmente, las plántulas alcanzaron una altura promedio de 11.26 cm a los 14 días desde la siembra. A pesar de la presencia de hongos en algunos casos, estos no afectaron de manera significativa la supervivencia o el crecimiento de las plántulas.

Fertilidad del Suelo

Ipomoea arborescens crece en suelos rocosos, es decir de textura franco arenoso, del cual Luna et al., (2012) menciona que este tipo de suelo posee una conductividad

hidráulica media que permite la retención de humedad, es decir, permite moderadamente retener agua del suelo. Por otro lado, se tiene que el palo blanco es una especie importante para la salud del suelo en el desierto de Sonora, ya que puede contribuir a aumentar la respiración del suelo, siendo importante para el ciclo de nutrientes y almacenamiento de carbono (Cable et al., 2008). La textura de los suelos arenosos facilita la mineralización debido a la aireación presente provocando el desgaste en las rocas (Gutiérrez et al., 2017).

Es importante destacar que la fertilidad presente en el suelo no solo afecta las plantas, sino también las poblaciones microbianas, manejando la disponibilidad de nutrientes (Reyes y Valery, 2007), por ello, las actividades antropogénicas a través de los años han afectado la fertilidad de suelo por factores como la compactación y contaminación del mismo en el municipio de Hermosillo (Zuniga-Teran et al., 2022).

En relación con los aspectos nutricionales del suelo, específicamente el fósforo, considerado fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Zapata et al., 2019), se observa una concentración media, excepto en la muestra 1, que mostró una concentración elevada en comparación con las demás. El fósforo, esencial para el crecimiento y funcionamiento de las plantas, participa en el desarrollo de raíces, formación de granos o semillas, crecimiento y floración. Este elemento, disponible en las rocas, requiere condiciones ambientales adecuadas y precipitación para facilitar su absorción (Corrales et al., 2014).

Los nitratos presentan variaciones, siendo de nivel medio en las muestras 1 y 4, y considerablemente bajo en las muestras 2 y 3. Cabe mencionar que el nitrógeno es un proceso llevado a cabo por microorganismos que estos mismos requieren condiciones óptimas de temperatura y humedad dependiendo de la zona y tipo de suelo (Celaya y Castellanos, 2011).

Las cuatro muestras revelaron niveles de calcio notablemente elevados, superando los límites establecidos según laboratorios de México. El tipo de suelo que abunda en el estado de Sonora son los regosoles y calcisoles, del cual los regosoles éutricos y calcáricos

(SEMARNAT, 2005) abundan hasta un 29% en el municipio de Hermosillo, mientras que los calcisoles abundan hasta un 23.16% (INEGI, 2010). Cabe mencionar que están asociados con materiales de alto contenido calcáreo. Ambos se localizan en suelos de ambiente áridos, semiáridos con escasa vocación agrícola (SEMARNAT, 2015; Akça et al., 2018) de las cuales se vieron reflejadas en las concentraciones obtenidas en las muestras, aunque eso no significa que no se aproveche para las actividades agropecuarias. Las calcitas requieren de movilización y filtración en el suelo hacia abajo para ser absorbidos y disolverse durante las lluvias (Ibañez y Manríquez, 2013). Esta abundancia se atribuye al clima, clasificado como desértico, donde se ha señalado la presencia significativa de rocas calizas en la región (Herrera, 1964), o posiblemente a la ruptura de piedras durante la excavación, liberando cantidades adicionales de calcio en las muestras.

Mantener una concentración relativa de magnesio beneficiosa para las plantas es crucial de acuerdo a los niveles adecuados según laboratorios de México, ya que desempeña un papel clave en los mecanismos de respuesta de las plantas a situaciones de estrés abiótico (Senbayram et al., 2015). Sin embargo, un exceso de magnesio podría interferir con la absorción de calcio. Desde la perspectiva de los procesos biológicos, estos niveles reflejan un metabolismo de carbono normal y una producción adecuada de clorofila (Guo et al., 2016).

La presencia de sales en el suelo es una característica distintiva de entornos áridos, como el municipio, atribuible a la evaporación del agua debido a las elevadas temperaturas, lo que resulta en la retención de sales en la superficie del suelo (Reyes, 2001). Aunque las concentraciones entre las muestras muestran mínimas desviaciones con respecto a los límites permitidos, esto se debe a la ausencia de lluvias durante la temporada de verano (figura 9).

El potasio, reconocido como un elemento esencial, contribuye al equilibrio hídrico de las plantas y aumenta su resistencia a sequías, heladas y salinidad (FAO y IFA, 2002). El pH del suelo también incide en la solubilidad de los nutrientes, y en este caso, se mantiene

dentro de un rango propicio. La presencia de sales en suelos áridos, una característica distintiva del municipio, es el resultado de la evaporación del agua en climas cálidos (Reyes, 2001).

La evaluación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) indica el suelo como normal y neutro. Esta información permite inferir sobre la abundancia nutricional y el grado de intemperismo de los suelos, siendo los valores influenciados por factores como el aluminio, la materia orgánica, los cationes solubles, el pH (Pérez, et al., 2017) y las condiciones de precipitación en la zona causando lixiviación (Chávez, 2015). El CIC está relacionada con %SAT, este entró en el rango, es decir, que proporciona un equilibrio adecuado entre el agua disponible de las plantas y la capacidad de suelo para drenarlo. Los valores del CIC dependen del aluminio, materia orgánica, cationes solubles, el pH (Pérez, et al., 2017) y la precipitación de la zona.

Los suelos en este estudio presentaron un pH neutro y la precipitación parece estar relacionada con el pH, como lo es indicado por Zuniga-Teran et al., 2022. El pH afecta la solubilidad de nutrientes, por lo que fue necesario realizar esta evaluación, lo que permitió reconocer que la mayoría de los nutrientes a niveles razonables se encuentran disponibles entre 6 a 7 (Cremona y Enriquez, 2020) es decir, ligeramente alcalinos, ya que presentando un pH inferior a 5.2 los nutrientes como el Ca, Mg, N, P y B pueden dejar de estar disponibles (Sela, 2023). Considerando que es donde se concentra la mayor cantidad de nutrientes presentado en las muestras, las condiciones son adecuadas para el crecimiento y desarrollo del palo blanco.

La medición de CaCO_3 es importante, ya que cuando está a niveles bajos se puede utilizar como enmiendas para neutralizar el pH del suelo. Es importante considerar que un porcentaje alto, influiría negativamente en desarrollo radicular de la planta y en la absorción de macronutrientes como el P y micronutrientes como He, Zn y Cu (Velázquez et al., 2022).

La conductividad eléctrica medida (0.66 a 0.77 dS/m) clasifica el suelo como no salino. Conductividad eléctrica se muestra con efectos despreciables de salinidad, ya que en todas las muestras se mostraron <1.5 dS/m. Esto es beneficioso ya que las plantas son incapaces de poder crecer y desarrollarse en suelos salinos.

La determinación de cationes intercambiables o bases intercambiables, es ampliamente usado en la caracterización de suelos. En las regiones secas, como en Sonora, la evaporación excede la precipitación acompañada de salinidad, por lo que es importante investigar la concentración de sodio intercambiable para el manejo adecuado de suelos de este tipo. En el caso de suelos áridos el Ca* y Mg* son elementos abundantes en estos suelos. Son catalogados como elementos esenciales en el desarrollo de las plantas y casi siempre son los iones principales (Garrido, 1993; López-Aguilar et al., 2002).

Mediciones Climatológicas

Durante el periodo 2022-2023, la precipitación en el lugar del trabajo fue escasa al mostrarse seco en los meses de mayo-junio y con lluvias anormales en los meses de abril y mayo, ya que en el periodo histórico se muestran los meses relativamente secos.

Dicho lo anterior, se ha evaluado que *Ipomoea arborescens* es capaz de resistir sequías, ya que esta especie florece y fructifica una vez al año (Pavón y Briones, 2001), exceptuando que la intensidad se presenta durante las temporadas de lluvias, tomando en cuenta que esta temporada no se presentó lluvias, el palo blanco aun así soporta la falta de precipitación y humedad en la zona.

En Hermosillo se mostró durante el periodo 1986 a 2020 con una temperatura promedio de 25.4°C, una temperatura mínima de 24.1°C y una temperatura máxima de 26.7°C del año más caluroso (INEGI, 2021). La precipitación promedio durante este periodo fue de 391.9 mm, para el año más seco fue de 185.6 mm y del año más lluvioso con 660.8 mm. Comparado con el periodo de estudio, se mostró una temperatura mínima de 14°C para el mes de mayo y una temperatura máxima de 49°C en el mes de junio. En cuanto a

precipitación se obtuvo de 14.75mm siendo una temporada seca definida para invierno y primavera con una disminución de casi el 10% en comparación. Según lo clasificado en cuanto a Koppen, el clima es de tipo desértico cálido (árido) y se designa como BWh (Ayala, 2017).

Porcentaje de Germinación y Sobrevivencia de Trasplante *in situ*

Las semillas que no mostraron germinación, pueden deberse a que las semillas se enterraron de más al momento de la siembra o al regarse se hundieron, lo que impidió poder realizar su proceso germinativo normal o bien fueron semillas que presentaron un embrión con poca capacidad germinativa.

Las semillas germinaron al tercer día, garantizando condiciones adecuadas en el sitio, ya que presenta comportamientos positivos para permitir realizar futuras actividades de propagación y/o conservación de la especie. Por otra parte, las mallas utilizadas como protección apoyaron en este actividad, pues se tomó en cuenta que es una zona con gran cantidad de presencia de algunos herbívoros lo que perturbaría el trabajo. Especies nativas de gran importancia con recursos fitogenéticos de la región, se les han realizado pruebas de germinación con el método de escarificación como tratamiento pregerminativo como es el palo fierro (*Olneya tesota*) lograron obtener hasta un 70.3% de germinación utilizando lija (Sañudo-Torres et al, 2009); con escarificación fisicoquímica con agua a 80°C se obtuvo un 99% de germinación (Mc Caughey, 2018), mientras que el mezquite (*Prosopis laevigata*) con 25% de germinación (Sobrevilla-Solis et al., 2013) con lija. A comparación con lo obtenido del palo blanco, demuestra que el utilizar el método de escarificación rompe el estado de latencia, iniciando el proceso de germinación.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los obtenidos Álvarez-Martínez et al., (2024), donde obtuvieron un porcentaje de germinación de semillas de palo blanco (*Ipomoea arborescens*) *in vitro* y hasta 99.66% de germinación en semillas

escarificadas y 1.66% de germinación en semillas no escarificadas. Podemos señalar que estos resultados son similares a los obtenidos en esta investigación.

Alarcón-Bravo y Torres (2016), al evaluar el porcentaje de germinación de semillas escarificadas mecánicamente de diferentes especies del género *Ipomoea* (*I. asarifolia*, *I. tiliacea*, *I. hederifolia*, *I. incarnata*, *I. nil*, *M. quinquefolia* e *I. purensis* y *I. Alba*), presentaron del 90 al 100% de germinación. Mientras que las especies como: *I. parasitica*, *I. amnícola*, *I. aristolochiifolia*, *I. wrigthii*, *I. purpurea* y *I. cairica*, mientras que las especies *M. aegyptia*, *M. umbellata* e *I. quamoclit* presentaron un porcentaje germinativo del 10 al 70% de germinación, por lo que podemos atribuir que el proceso de escarificación mecánica es esencial para obtener una germinación superior del 90% en áreas silvestres.

Existe poca información de la sobrevivencia al trasplante de palo blanco y de acuerdo a los resultados de Álvarez-Martínez et al., (2024) evaluaron el porcentaje de mortalidad al trasplante de plántulas producidas *in vitro*, donde obtuvieron el 100 % de sobrevivencia al trasplante a recipientes plásticos a los 15 días, con una altura promedio de 16.27cm, sin embargo, al ser trasplantadas a macetas obtuvieron un 98%. Autores como Mc Caughey et al., (2022), estudiaron la especie de *Krameria erecta* para su establecimiento *in situ*, donde encontraron del 97.66 a 98.33% de sobrevivencia. Dado lo anterior, podemos señalar que dichos resultados son similares a los obtenidos en esta investigación, por lo tanto, el palo blanco, puede considerarse como una posible opción para realizar reforestaciones por presentar una tasa de sobrevivencia superior del 90% a los 15 días post-trasplante. Posiblemente la sobrevivencia se le puede atribuir al uso de las mallas, ya que Celaya-Michel et al., 2022 las utilizaron con palo fierro (*Olneya tesota*) para su establecimiento y lograron obtener de entre 16 a 78% de germinación.

La rehabilitación en zonas degradadas es un proceso complicado de manera natural, ya que es necesario el uso de varios factores, principalmente de una alta producción de semillas, una gran acumulación de precipitación arriba del promedio durante años, utilizar mallas protectoras para evitar la herbivoría y la siembra de semillas con sus respectivos cuidados (Shereve y Wiggins, 1964; Celaya-Michel et al., 2019; CONAFOR, 2010).

CONCLUSIONES

Los tratamientos pregerminativos utilizados demuestran efectividad en la germinación del palo blanco. Las técnicas de escarificación utilizadas, se destacó la el método de escarificación mecánica mediante el drill con un 98.6% de germinación. Estos resultados corroboran sobre la importancia de romper la latencia en semillas para garantizar su propagación y conservación.

En cuanto al perfil fisicoquímico del suelo, el palo blanco posiblemente prefiere suelos con altos contenidos de calcio, algo notorio en los desiertos de Sonora, debido a la presencia de suelos regosoles, algo común en regiones de suelos áridos, indicándose como suelo franco-arenoso. La presencia de nutrientes como el calcio, magnesio y potasio, además de un pH neutro, habla por las condiciones en las que crece el palo blanco a pesar de la baja precipitación de la zona. Además, la capacidad de intercambio catiónico y la conductividad eléctrica muestran potencial para actividades agropecuarias limitadas. Mientras que, por otro lado, los análisis obtenidos en cuanto a la fertilidad del suelo, cumplen con los estándares generales de referencia de los laboratorios de suelos en México.

El alto porcentaje de sobrevivencia de las plántulas tras el trasplante, mostró ser superior al 90%, y la resistencia a las condiciones adversas de la zona, demuestra que el palo blanco es una especie promisoria para programas de rehabilitación o reforestación en regiones áridas con suelos dañados. Los resultados obtenidos en el trabajo permitirán para futuros proyectos mejoren sus estrategias de propagación y conservación de especies nativas con gran importancia ecológica como es la especie del palo blanco.

RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos en la presente investigación:

- Estudiar la abundancia de la especie del palo blanco (*Ipomoea arborescens*).
- Realizar un modelo de modelación especial para esta especie en el estado de Sonora
- Realizar actividades de conservación de la especie del palo blanco (*Ipomoea arborescens*).
- Se recomienda estudiar los componentes químicos medicinales que brinda la especie del palo blanco (*Ipomoea arborescens*).
- Elaborar un programa de difusión informativo para prevenir la disminución de la especie mediante las técnicas utilizadas en el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

1. Aizen, M. A., & Feinsinger, P. (1994). *Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest, Argentina*. *Ecology*, 75(2), 330-351. <https://doi.org/10.2307/1939538>
2. Akça, E., S. Aydemir, S. Kadir, M. Eren, C. Zucca, H. Günal, F. Previtali, P. Zdruli, A. Çilek, M. Budak, A. Karakeç, S. Kapur and E. A. FitzPatrick. (2018). *Calcisols and Leptosols*. In: S. Kapur, H. Günal and E. Akça (eds). *The soil of Turkey*. Springer International Publishing AG. World Soils Book Series Cham. Cham, Switzerland. pp. 139-167. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64392-2_10
3. Alarcón, L.A. y Torres, G.N. (2016). *Aspectos taxonómicos, germinación de semillas y conservación de germoplasma de los géneros Ipomoea y Merremia (Convolvulaceae) de la región Lambayeque y zonas aledañas*. Tesis de licenciatura. Univ. Luis Pedro Gallo, Facultad de Ciencias Biológicas, Lambayeque, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/839>
4. Alcocer, J., & Bernal-Brooks, F. W. (2010). Limnology in mexico. *Hydrobiologia*, 644, 1-54. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0211-1>
5. Alfonsín, M. A. L., & Bucetto, M. S. (2019). Las especies en peligro de extinción y los mecanismos para la recuperación y conservación de la biodiversidad: un estudio sobre la viabilidad de los mecanismos y las trabas burocráticas. *Lex: Revista de la Facultad de Derecho y Ciencia Política de la Universidad Alas Peruanas*, 17(23), 297-324.
6. Álvarez-Martínez, A., Mc Caughey-Espinoza, D., Magaña-Barajas, E., Rodríguez-Briseño, K., Celaya-Rosas, M., Morales-Romero, D., & Cota-Arriola, O. (2024). *Germinación in vitro de palo blanco (Ipomoea arborescens (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don)*. Abanico Agroforestal, 6, e2023-20. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2024.2>
7. Apráez, E., Gálvez, A. L., y Navia, J. F. (2017). *Evaluación nutricional de arbóreas y arbustivas de bosque muy seco tropical (bms-T) en producción bovina*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 98-107. <http://dx.doi.org/10.22267/>

8. Argüeyes, L. M. (2008). *UMAs extensivas de venado cola blanca como instrumento económico de restauración ecológica en el noroeste de Morelos*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. UNAM.
9. Arriaga, V., V. Cervantes & A. Vargas-Mena. (1994). Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. Instituto Nacional de Ecología, SEDESOL, UNAM, México, D.F.
10. Austin, D. F., Felger, R., & Van Devender, T. R. (2005). Nomenclature of *Ipomoea arborescens (Convolvulaceae) in Sonora, Mexico*. SIDA, Contributions to Botany, 1283-1292. ISSN 00361488
11. Ayala-Moreno, A. A. (2017). *Ahorro energético en edificaciones con aire acondicionado*. Biotecnia, 19, 19-22. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i0.361>
12. Baskin, C. C. y Baskin, J. M. (1998). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. ISBN: 0080540864
13. Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Elsevier. ISBN: 9780124166776
14. Blakesley, D., Elliott, S., Kuarak, C., Navakitbumrung, P., Zangkum, S., & Anusarnsunthorn, V. (2002). *Propagating framework tree species to restore seasonally dry tropical forest: implications of seasonal seed dispersal and dormancy*. Forest Ecology and Management, 164(1-3), 31-38. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00609-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00609-0)
15. Bokkestijn, A. (2017). *Gestión y valorización de paisajes de Bosques Andinos para la mitigación y adaptación al Cambio Climático: Aprendizajes y desafíos*. Bosques Andinos: estado actual y retos para su conservación en Antioquia, 1a ed., pp. 29-35. ISBN 978-958-59470-5-4
16. Born-Schmidt, G., Servole, J. P., y Koleff, P. (2017). *La Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras: avances en su puesta en práctica*. Principales retos que especies exóticas invasoras, 35. ISBN: 978-607-8501-58-8
17. Cable, J. M., Ogle, K., Williams, D. G., Weltzin, J. F., & Huxman, T. E. (2008). *Soil texture drives responses of soil respiration to precipitation pulses in the Sonoran Desert*:

- implications for climate change.* Ecosystems, 11, 961-979.
<https://doi.org/10.1007/s10021-008-9172-x>
18. Calvo, P., Meneses, L. y Zúñiga, D. (2008). *Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (Solanum tuberosum) en zonas altoandinas.* Ecol. Apl. 7(1-2):141-148. ISSN 1726-2216
19. Carranza, E. (2004). *Análisis taxonómico y fitogeográfico del género Ipomoea L. (Convolvulaceae) en la Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, México.* Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. 247 p.
20. Carranza, E. (2008). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes.* Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México. Vol. 155, pp. 1-109.
21. Castellanos, A. E., Martínez, M. J., Llano, J. M., Halvorson, W. L., Espiricueta, M., y Espejel, I. (2005). Successional trends in Sonoran Desert abandoned agricultural fields in northern Mexico. *Journal of arid environments*, 60(3), 437-5.
22. Castellanos-Villegas, A. E., Bravo, L. C., Koch, G. W., Llano, J., López, D., Méndez, R., Rodríguez, J. C., Romo, R., Sisk, T. D., & Yanes-Arvayo, G. (2010). *Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semi-áridos.* En F. E. Molina-Freaner, & T. R. Van Devender (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora.* (pp. 157-186). CONABIO - UNAM, México
23. Castillo, A. M., Ochoa, C. O., Nieto, C. R. M., Jurado-Guerra, P., Verín, C. V. S., Royo-Márquez, M. H., ... y Álvarez, C. P. (2018). *Propagación de plantas nativas para la recuperación de áreas degradadas: opción para mejorar ecosistemas.* Tecnociencia Chihuahua, 1(3), 38-41. I <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v1i3.60>
24. Cavusoglu, A. & Sulusoglu, M. (2015). The effects of exogenous gibberellin on seed germination of the fruit species. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 8(1), 06-09. ISSN: 1308-0040
25. Celaya, H. y Castellanos, A. (2011). *Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas.* Terra Latinoamericana 29, 343-356. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0389-4>

26. Celaya-Michel, H., Hinojo-Hinojo, C., Sánchez-Villalba, E., & Barrera-Silva, M. Á. (2022). Olneya tesota plantations under different growing conditions in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 14(2), 2-17. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2022.06.060>
27. Celaya-Michel, H., Mc Caughey-Espinoza, D. M., Rodríguez, J. C., Bautista-Olivas, A. L., Castellanos-Villegas, A. E., Hinojo-Hinojo, C., ... & Barrera-Silva, M. Á. (2019). Desempeño post-trasplante de 17 leñosas forrajeras nativas de Sonora, México. *Agrociencia*, 53(3), 371-380.
28. Celaya-Michel, H., Ochoa-Meza, A., López-Elías, J., & Barrera-Silva, M. Á. (2017). Germinación y crecimiento en vivero y en campo de zaya (*Amoreuxia palmatifida* DC.), una especie nativa amenazada en México. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(24), 66-66. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n24p66>
29. Chávez, A. R. (2015). *Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras*. Tesis doctoral. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana.
30. Coa Urbaez, Martín, Mendez Natera, Jesús Rafael, Silva Acuña, Ramón, & Mundarain Padilla, Sol. (2014). Evaluación de métodos químicos y mecánicos para promover la germinación de semillas y producción de fosforitos en café (*Coffea arábica*) var. Catuaí Rojo. *Idesia (Arica)*, 32(1), 43-53. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000100006>
31. Colunga, M., P., y Zizumbo, D. (2006). *Tequila and other Agave spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin*. In Plant Conservation and Biodiversity. pp. 79-93. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6444-9_6
32. CONAFOR. (2010). Prácticas de reforestación: Manual Básico. Comisión Nacional Forestal. https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF
33. CONAFOR. (2014). *Diagnóstico del Programa Presupuestario U036 PRONAFOR-Desarrollo Forestal 2014*. Recuperado de:

- https://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico/Diagnostico_2014/Diagnostico_2014_SEMARNAT_U036.pdf
34. Corrales, L. C., Arevalo, Z. Y., & Moreno, V. E. (2014). *Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal*. Nova, 12(21), 68-79. ISSN 1794-2470
35. COTECOCA. (2002). *Diagnóstico de los agostaderos del Estado de Sonora*. SAGARPA. Coordinación General de Ganadería. México. p. 52.
36. Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica*. EEA Bariloche. ISSN 0326-7040
37. DeFries, R., Pagiola, S., Adamowicz, W. L., Akcakaya, H. R., Arcenas, A., Babu, S., ... & Thönnell, J. (2005). *Analytical approaches for assessing ecosystem condition and human well-being*. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. 1, 37-71.
38. Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM). (2019). Plantas Vasculares. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea). Mexico City Available at: <http://datosabiertos.unam.mx/>
39. Díaz, S. V., Sanvicente, E. P., Rivera, I. L., Arango, I. P., Camacho, C. A., & Palacios, A. F. (2021). *Importancia y usos de los cazahuates y quiebraplatos*. Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos, 17(42), 2. <http://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.42/2>
40. FAO & IFA. (2002). *Los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión*. FAO, Roma, Italia. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>
41. FAO. (1996). *Ecología y enseñanza rural: Nocións ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de: https://www.fao.org/3/W1309S/w1309s05.htm#P5_56
42. FAO. (2014). *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Edición revisada. Roma. E-ISBN 978-92-5-308262-9
43. Felger, R. S., Austin, D. F., Van Devender, T. R., Sánchez-Escalante, J. J., & Costea, M. (2012). *Convolvulaceae of Sonora, Mexico. I. Convolvulus, Cressa, Dichondra*,

- Evolvulus, Ipomoea, Jacquemontia, Merremia, and Operculina*. Journal of the Botanical Research Institute of Texas, 459-527. ISSN 19345259
44. Felger, R. S., Austin, D. F., Van Devender, T. R., Sánchez-Escalante, J. J., & Costea, M. (2012). *Convolvulaceae of Sonora, Mexico. I. Convolvulus, Cressa, Dichondra, Evolvulus, Ipomoea, Jacquemontia, Merremia, and Operculina*. Journal of the Botanical Research Institute of Texas, 459-527. ISSN 19345259
45. Flores, F. I., Rivera, M. M., Medina, S. M., Martín, F. I., y López, R. R. (2018). *Cambios de vegetación y costos asociados con el continuo sobrepastoreo del ganado en el pastizal mediano abierto de Cananea, Sonora, México*. Revista Mexicana de Agronegocios, 42, 855-866. ISSN: 1405-9282
46. Francis, J. K., y Lowe, C. A. (2000). *Guazuma ulmifolia Lam. Guácima. Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales*. New Orleans. LA: U.S.255p.
47. Fuentes, A.C.D., Martínez Salas, E. & Samain, M.-S. (2020). *Ipomoea arborescens. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T126300400A126300961*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T126300400A126300961>
48. Garrido, M. (1993). Interpretación de análisis de suelos: Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis. Hojas divulgadoras. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
49. Guerra, G. F. (2018). *Plantas nativas, nuestras raíces*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina, Buenos Aires.
50. Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., & Yang, D. (2016). *Magnesium deficiency in plants: An urgent problem*. The Crop Journal, 4(2), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.11.003>
51. Gutiérrez, J. S., Cardona, W. A., & Monsalve, O. I. (2017). *Potencial en el uso de las propiedades químicas como indicadores de calidad de suelo*. Una revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 11(2), 450-458. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.5719>

52. Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). *The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being*. *Ecosystem Ecology: a new synthesis*, 1, 110-139. <http://doi.org/10.1017/cbo9780511750458.007>
53. Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2014). *Plant propagation: Principles and practices (8th ed.)*. Prentice Hall. ISBN: 978-0-13-680991-3
54. Heartmann, H. D. y Kester D. E. (1991). *Propagación de plantas*. Ed. Continental. 5ta Reimpresión. México. Pp. 137-169.
55. Hernández-Vargas, G., Sánchez-Velásquez, L. R., y Aragón, F. (2001). *Tratamientos pregerminativos en cuatro especies arbóreas de uso forrajero de la selva baja caducifolia de la sierra de Manantlán*. *Forestal Veracruzana*, 3(1), 9-15. ISSN: 1405-7247
56. Herrera, R. J. (1964). *Estudio sobre salinidad en la costa de Hermosillo*. Tesis de licenciatura. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. <http://www.repositoryinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/3966/1/herreraodriguezjorgel.pdf>
57. Hossain, M. M., Uddin, M. S., Baral, P. K., Ferdus, M., & Bhowmik, S. (2022). *Phytochemical screening and antioxidant activity of Ipomoea hederifolia stems: A potential medicinal plant*. *Asian Journal of Natural Product Biochemistry*, 20(2). <https://doi.org/10.13057/biofar/f200201>
58. Ibañez, J. y Manríquez, C. F. (2013). *Calcsoles (WRB)*. Un Universo invisible bajo nuestros pies. Fundación Madrid. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/02/13/143541>
59. INEGI. (2007). *Mapa Digital de México. Sección Edafología*. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
60. INEGI. (2007). Perspectiva Estadística Sonora. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 88 p.
61. INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/26/26030.pdf

62. INEGI. (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Sonora*. Recuperado de: https://www.diputados.gob.mx/sedia/biblio/usieg/mapas2016/son_mapas.pdf
63. INEGI. (2021). *Aspectos geográficos*. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_26.pdf
64. JMP Statistical Discovery LLC. (2022). *Discovering JMP® 17*. Cary, NC: JMP Statistical Discovery LLC.
65. León, I., Mirón, G., & Alonso, D. (2006). *Characterization of pentasaccharide glycosides from the roots of Ipomoea arborescens*. Journal of natural products, 69(6), 896-902. <https://doi.org/10.1021/np0600604>
66. León, L. (2017). Concentración de ácido clorhídrico y tiempos de inmersión sobre la germinación de *Passiflora ligularis luss* granadilla. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/517>
67. Loera, C. J. (2016). *Biología reproductiva de Ipomoea arborescens (Convolvulaceae) en un bosque tropical caducifolio de Jalisco, México*. Tesis de maestría. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. <https://hdl.handle.net/20.500.12104/83326>
68. López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., Benson-Rosas, M., Lopez-Arce, E., & Valle-Meza, G. (2002). *Manual de análisis químicos de suelos*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC La Paz, BCS México. ISBN 970-18-8541-4
69. Luna, A., Espino, M., Luna, L., & Pacheco, J. R. (2012). *Caracterización de suelos en una localidad tipo que alberga cactáceas priotarias para su conservación*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(SPE4), 672-678. ISSN 2007-0934
70. Maya, R. J. (1999). Evaluación de 25 tratamientos pregerminativos en semillas de mezquite (*Prosopis velutina* Wooton) en el área de influencia de URUZA. Universidad Autónoma de Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo Durango, México.
71. Mc Caughey-Espinoza, D. M. (2022). *Micropropagación, establecimiento y desarrollo en campo de Krameria erecta Wild. ex Schult. & Schult f en Sonora, México*. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Sinaloa.

72. Mc Caughey-Espinoza, D. M., Ayala-Astorga, G. I., Burboa-Zazueta, M. G., Retes-López, R. y Ochoa-Meza, A. (2018). *Uso de plantas nativas para la rehabilitación de canteras en Sonora*. Idesia (Arica), 36(4), 17-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005002401>
73. Mc-Caughey-Espinoza, D., Hernán-Celaya, M., Ayala-Astorga, G., Burboa-Zazueta, M., Gracida-Valdepeña, M., & Ochoa-Meza, A. (2019). *Evaluación de ocho especies de árboles endémicos del estado de Sonora en suelo agrícola*. Abanico agroforestal, 1. ISSN 2594-1992
74. McDonald, T., Gann, G., Jonson, J., & Dixon, K. (2016). *Estándares internacionales para la práctica de la restauración ecológica, incluyendo principios y conceptos clave*. Society for Ecological Restoration. Washington, D.C. Recuperado de: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/SER_Standards_Spanish_rev.pdf
75. McPherson, G. (1981). *Studies in Ipomoea (Convolvulaceae) I. The Arborescens Group*. Annals of the Missouri Botanical Garden. 68(4), 527–545. <https://doi.org/10.2307/2398887>
76. MEA. (2005). Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. ISBN 92 4 156309 5
77. Miranda , H., Velazquez, J., Martin, M. H., Ibarra, F. A., & Celaya, M. (1996). Efecto de diferentes tratamientos de escarificación sobre la germinación de la semilla de samota. PTROCIPES. Recuperado de: <https://www.patrocipes.org.mx/investigaciones/manejode-pastizales/p96003/>
78. Mohanraj, R., & Sivasankar, S. (2014). *Sweet Potato (Ipomoea batatas [L.] Lam)-A valuable medicinal food: A review*. Journal of medicinal food, 17(7), 733-741. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.2818>
79. Montaño, A. N. M., & Monroy, A. (2000). *Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas de México*. Ciencia y Desarrollo, 26(154), 27-37. ISSN 0185-0008

80. Muñoz, E., Pupiales, S. y Navia, J. (2011). Evaluación del estado actual del nitrógeno en el arreglo silvopastoril (*Alnus jorullensis* H b & K) kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex *Pennisetum clandestinum* Hochstex Chiov.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1):161–175. ISSN: 256-2273.
81. Naik, I. S., & Deshpande, V. K. (2021). Seed coat dormancy: An overview in legumes. *The Pharma Innovation Journal*, 10(11), 620-624. <https://dx.doi.org/10.22271/tpi>
82. Navarro N., L. A., & Moreno V., J. L. (2016). *Cambios en el paisaje arbolado en Hermosillo: escasez de agua y plantas nativas*. *Región y sociedad*, 28(67), 79-120. ISSN 2448-4849
83. Ochoa Espinosa, M. F., Armenta Calderón, A. D., Moreno Salazar, S. F., Fernández Herrera, E., y Ochoa Meza, A. (2019). *Fertilización orgánica y su impacto en la calidad del suelo*. *Biotecnia*, 21(1), 87-92.
84. Ochoa, M. E. (2019). *Experimentos de germinación con semillas de Rañas, Viburnum triphyllum (Benth) y sus implicaciones para la propagación y restauración*. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9601>
85. Oliva-Valle, M., Vacalla-Ochoa, F., Pérez-Chuquimez, D., & Tucto-Chávez, A. (2014). *Recolección de semillas de especies forestales nativas: experiencia en Molinopampa*, Amazonas-Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12921/347>
86. Owen, E. J. (1995). *Características físico-químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrientes, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite*. *Palmas*, 16(1), 31-39. <https://doi.org/10.56866/issn.0121-2923>
87. Padilla, H. (2018). *Es Sonora el estado con mayor deforestación*. [elimparcial.com](https://www.elimparcial.com/sonora/sonora/Es-Sonora-el-Estado-con-mayor-deforestacion-20180528-0136.html). Consultado en agosto 31, 2022. <https://www.elimparcial.com/sonora/sonora/Es-Sonora-el-Estado-con-mayor-deforestacion-20180528-0136.html>.
88. Paretti, A. (1994). Manual para el análisis de semillas. Instituto de Tecnología Agropecuaria. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
89. Pavón, N. P., & Briones, O. (2001). *Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub*. *Journal of Arid Environments*, 49(2), 265-277. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0786>

90. Pequeño-Ledezma, M. Á., Alanís-Rodríguez, E. , Jiménez-Pérez, J. , González-Tagle, M. A. , Yerena-Yamallel, J. I., Cuellar-Rodríguez, G., & Mora-Olivo, A. (2012). *Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México*. CienciaUAT, 7(1), 48. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v7i1.39>
91. Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., Hernández, T. M., Vázquez, M. A., & Rodríguez, A. (2017). *Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+ n)*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(1), 171-177. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.80>
92. Pérez-Hernández, I., Brondo-Ricárdez, R., Domínguez-Angulo, S., & Barceló, A. L. D. A. (2020). Tratamientos pregerminativos a semillas y desarrollo inicial de plántulas de chile amashito (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *Agro Productividad*, 13(2). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1589>
93. Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., Joppa, L. N., ... & Sexton, J. O. (2014). *The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection*. Science, 344(6187), 1246752. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1246752>
94. Reyes, I., & Valery, A. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) con *Azotobacter* spp. Bioagro, 19(3), 117-126. ISSN 1316-3361
95. Reyes, M. L. (2001). *Degradación de suelos en Sonora*. Región y Sociedad, 13(22). ISSN: 1870-3925
96. Reyna-González, Á. M., Soto-Borrego, P.S., Alanís-Rodríguez, E., Molina-Guerra, V. M., & Collantes-Chávez-Costa, A. (2021). *Estructura y diversidad del matorral xerófilo en el Noreste de México*. Polibotánica, (51), 107-122. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.7>
97. Rodríguez, L. (1989). Tratamientos pregerminativos para algunas especies forestales nativas de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Avances en la producción de semillas forestales en América Latina, 153-158.
98. Rodríguez-García, María Florencia, Huerta-Espino, Julio, Villaseñor-Mir, Héctor Eduardo, Rivas-Valencia, Patricia, González-González, Miguel, Hortelano-Santa Rosa,

- René, Robles-Yerena, Leticia, & Aranda-Ocampo, Sergio. (2020). Tratamiento químico en la semilla de trigo para disminuir la incidencia de bacterias. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(2), 239-249. Epub 27 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2001-5>
99. Ruiz, M. A. (2009). *El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas*. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. EEA INTA Anguil Argentina, (77), 1-19. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2015.2160>
100. SAGARPA. (2010). Diagnóstico Sectorial Agropecuario, Pesquero y Recursos Naturales del Estado de Sonora. Pp. 52. Recuperado de: http://smye.info/pagina/documentos/sistemas/eval2014/resultados2014/PDF2/SON/Disgnostico_20_octubre_2010.pdf
101. Sañudo-Torres, R. R., Vázquez-Peña, P., Armenta-López, C., Rivero, H. S. A., Beltrán, C. C., Ibarra-Ceceña, M. G., & Félix-Herrán, J. A. (2009). *Tratamientos pregerminativos en semillas de Palo fierro (Olneya tesota A. Gray) y propagación en sustrato de composta de lirio acuático (Eichhornia crassipes)*. *Ra Ximhai*, 5(3), 329-333.
102. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2014). *Global Biodiversity Outlook 4*. Montréal, 155 pages. ISBN- 92-9225-540-1
103. Sela, G. (2023). *El pH y la acidez del suelo. Cropaia*. Recuperado de: <https://cropaia.com/es/blog/el-ph-del-suelo/>
104. SEMARNAT. (2005). *Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales*. ISBN 968-817-738-5
105. SEMARNAT. (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. SEMARNAT, México.
106. Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V., & Thiel, H. (2015). *Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum*. *Crop and Pasture Science*, 66(12), 1219-1229. <https://doi.org/10.1071/CP15104>
107. Shreve, F. y Wiggins, I. (1964). *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press. 1740 p. ISBN: 978-0804701631

108. Singla, C., Sharma, A., & Dhiman, A. (2021). An update on phytochemistry and therapeutic properties of *Ipomoea carnea*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 01-06. ISSN: 2278-4136
109. Sobrevilla-Solís, J. A.; López Herrera, M.; López Escamilla A.; Romero Bautista, L. (2013). *Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmosis en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. y Bonpl. Ex Willd) M. C. Johnston*. Estudios Científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas, 12:82-95.90-91. ISSN 2766-1415
110. Srivastava, D., & Shukla, K. (2015). *Antioxidant potential of medicinal plant *Ipomoea caica* (L) Sweet*. *Inter J Devel Res*, 5(4), 4255-8. ISSN: 2349-9141
111. Srivastava, D., y Rauniyar, N. (2020). *Medicinal Plants of Genus Ipomoea: A glimpse of potential Bioactive compounds of genus Ipomoea and its detail*. Beau Bassin. LAP LAMBERT. ISBN: 978-62-0-57143-4
112. Stafford-Smith, D.M. y J.F. Reynolds. (2002). The Dahlem Desertification Paradigm: A New Approach to an Old Problem. En: J.F. Reynolds y D.M. Stafford-Smith. eds. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* Dahlem University Press, Berlín, pp. 403-424.
113. Suárez, D. y Melgarejo, L. M. (2010). Biología y germinación de semillas. *Experimentos en fisiología vegetal*, 13-25. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
114. Suresh NI, Deshpande VK (2021) Seed coat dormancy: an overview in legumes. *The Pharma Innovation Journal* 10: 620-624.
115. Tallamy, D. W. (2020). *Nature's Best Hope: A New Approach to Conservation that Starts in Your Yard*. Timber Press. Recuperado de: <https://static1.squarespace.com/static/5dc6bee6a0fe3564fd0b89c7/t/612d619b58f7db4cf/d54a37a/1630364061705/September+2021+ShorelinesWeb.pdf>
116. Torres, R. R. S., Peñate, P. V., López, C. A., Rivero, H. S. A., Beltrán, C. C., Ceceña, M. G. I., & Herrán, J. A. F. (2009). Tratamientos pregerminativos en semillas de Palo fierro (*Olneya tesota* A. Gray) y propagación en sustrato de compost de lirio acuático

- (*Eichhornia crassipes*). *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 5(3), 329-334.
117. Van Devender, T. R.; Felger, R. S.; Fishbein, M.; Molina-Freaner, F. E.; Sánchez-Escalante J.; Reina-Guerrero, A. L. (2010). Biodiversidad de las plantas vasculares. *Diversidad biológica de Sonora*, UNAM, México, pp.229-261. ISBN 978-607-02- 0427-2.
118. Vargas Ríos, O., Melgarejo, L. M., Pérez-Martínez, L. V., Rodríguez, N. A., & Insuasty Torres, J. (2014). *Semillas de plantas de páramo: ecología y métodos de germinación aplicados a la restauración ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. ISBN 978-958-775-099-7
119. Vázquez, J., Y. (2019). *Cazahuate: características, hábitat, beneficios y efectos*. Lifeder. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/cazahuate/>
120. Vázquez, R. A., Cota, L. M. L., Arce, L. C., García, R. I., Arias, B. E., & Rueda-Puente, E. O. (2016). *Propiedades Fisicoquímicas De Suelos Cultivados Con Asparagus Officinalis En La Región Árida Del Noroeste De México*. <https://doi.org/10.19044/esj, v12n30>.
121. Velázquez, R. V., Holguín, W. D. V., Loor, R. I. P., & Muñoz, K. I. D. (2022). *Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de la parroquia El Esfuerzo del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas: Determination of the physical and chemical properties of agricultural soils*. Revista Científica Sinapsis, 2(21). <https://doi.org/10.37117/s.v2i21.534>
122. Weaver, R. L. (1989). *Reguladores del crecimiento de plantas en la agricultura*. México D. C. Edit. Trillas. México D.F., México.
123. Wood, J. R., Muñoz-Rodríguez, P., Williams, B. R., & Scotland, R. W. (2020). *A foundation monograph of Ipomoea (Convolvulaceae) in the New World*. PhytoKeys, 143. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.143.32821>
124. Zapata, Y., Figueroa, L., Lara, N., Urbina, C., & Escobar, H. (2019). Efectos de la incorporación de residuos de combustión de grama salada (*distichlis spicata* (L.) Greene)

sobre la fijación de fósforo en un suelo árido. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 44(8), 469-474. ISSN 0378-1844

125. Zuniga-Teran, AA, González-Méndez, B., Scarpitti, C., Yang, B., Murrieta Saldivar, J., Pineda, I., ... & Valencia-Sauceda, J. (2022). *Implementación del Cinturón Verde en Tierras Áridas mediante el Reacondicionamiento de Suelos y el Diseño del Paisaje: El Caso de Hermosillo, México*. *Tierra* , 11 (12), 2130. <https://doi.org/10.3390/land1112213>